



TUGAS AKHIR - TE141599

**Rekonfigurasi dan Penempatan DG
Mempertimbangkan Kontingensi Untuk Mengurangi
Rugi Daya Menggunakan Metode *Binary Integer
Programming* dan *Particle Swarm Optimization***

Gema Ilham Pangestu
NRP 2213106056

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE141599

**Reconfiguration and DG Placement Consider
Contingency to Reduce Power Losses with Binary
Integer Programming and Particle Swarm
Optimization**

Gema Ilham Pangestu
NRP 2213106056

Supervisors
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**REKONFIGURASI DAN PENEMPATAN DG
MEMPERTIMBANGKAN KONTIGENSI UNTUK
MENGURANGI RUGI DAYA MENGGUNAKAN
METODE *BINARY INTEGER PROGRAMMING* DAN
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 196404051990021001



Rekonfigurasi dan Penempatan DG Mempertimbangkan Kontingensi Untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Metode *Binary Integer Programming* dan *Particle Swarm Optimization*

Gema Ilham Pangestu
NRP 2213106056

Dosen Pembimbing
Prof. Ontoseno Penangsang M.sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ABSTRAK

Sistem distribusi merupakan salah satu komponen penting dari suatu sistem tenaga listrik karena berhubungan langsung dengan pengguna energi listrik, terutama pengguna energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Semakin meningkatnya permintaan energi listrik menimbulkan terjadinya kontingensi. Kontingensi adalah suatu kejadian yang tidak diinginkan dan dapat berupa beban lebih pada penyulang, ataupun rusaknya transformator yang mengakibatkan rugi-rugi daya.

Pada tugas akhir ini, masalah kontingensi yang menyebabkan rugi-rugi daya diatasi dengan melakukan rekonfigurasi penyulang dan instalasi *Distributed Generation* (DG) pada beberapa bagian. Untuk rekonfigurasi menggunakan metode *Binary Integer Programming* (BIP) agar mendapatkan kombinasi *tie switch* dan *section switch* agar didapatkan hasil yang optimal dan penentuan penempatan DG menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* yang dilakukan secara bertahap.

Pada hasil pengujian, pada kasus ke-2 untuk rekonfigurasi terpilih kombinasi ke-3 dan penempatan DG sebanyak 2 buah pada bus ke 24 dengan kapasitas masing-masing 0,8 MW, rugi-rugi daya turun dari 193.645 KW menjadi 95.665 KW. Pada kasus ke-3 untuk rekonfigurasi terpilih kombinasi ke-1 dan penempatan DG pada bus ke 28 dengan kapasitas 0,5 MW, rugi-rugi daya turun dari 162,28 KW menjadi 121,48 MW.

Kata Kunci: kontingensi, *Binary Integer Program*, rekonfigurasi, *Particle Swarm Optimization*, *Distributed Generation*, rugi-rugi daya

Reconfiguration and DG Placement Consider Contingency to Reduce Power Losses with Binary Integer Programming and Particle Swarm Optimization

Gema Ilham Pangestu
NRP 2213106056

Counsellor Lecturer
Prof. Ontoseno Penangsang M.sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ABSTRACT

The distribution system is one of the essential components of an electric power system because it is directly related to electrical energy users, especially users of electric power medium voltage and low voltage. The increasing demand for electrical energy causing the occurrence of a contingency. Contingency is an undesirable events and may be more load on the feeder, or damage to the transformer resulting in power loss.

In this final Project, contingency problems that cause power losses addressed by performing feeder reconfiguration and installation of Distributed Generation (DG) in some parts. For reconfiguration using Binary Integer Programming (BIP) in order to get a combination of tie switches and section switches in order to obtain optimal results and determination of the placement of DG using Particle Swarm Optimization is done gradually.

On the test result, in case 2 for reconfiguration combination 3 is elected and DG placement by 2 pieces on the bus 24 with a capacity of 0.8 MW each, loss of power down from 193,645 KW to 95,665 KW. In the case 3 for reconfiguration combination 1 is elected and the placement of DG on the bus 28 with a capacity of 0.5 MW, power losses dropped from 162.28 KW be 121.48 MW.

Keyword: contingencies, Binary Integer Program, reconfiguration, Particle Swarm Optimization, Distributed Generation, Power losses

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “Rekonfigurasi dan Penempatan DG Mempertimbangkan Kontingensi Untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan *Metode Binary Integer Programming dan Particle Swarm Optimization*” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu dan seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Suyanto, ST. MT. yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
4. Keluarga Lab. B103, Tim Kontingensi, serta keluarga besar LJ genap 2013.
5. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, Januari 2016
Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Tugas Akhir	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB II DASAR TEORI.....	 5
2.1 Sistem Jaringan Distribusi.....	5
2.2 Rekonfigurasi Jaringan.....	8
2.3 Aliran Daya	9
2.3.1. Persamaan Aliran Daya	9
2.3.2. Rugi-rugi dan Aliran Daya	10
2.4 <i>Distributed Generation</i>	12
 BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	 15
3.1 Sistem Distribusi 20 KV Di Surabaya	15
3.1.1 Penyulang Kaliasin	15
3.1.2 Penyulang Basuki Rahmat	17
3.1.3 Penyulang Ometraco	20
3.1.4 Penyulang Tunjungan	23
3.1.5 Penyulang Tegalsari.....	25
3.2 Teori <i>Binary Integer Programming</i>	27
3.3 Perancangan Software BIP	28

3.4 Teori <i>Particle Swarm Optimization</i>	30
3.4.1 Global Best PSO	30
3.4.2 Inisialisasi Variabel Awal, Input Data PSO dan Proses Iterasi PSO	33
BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS.....	35
4.1 Pemodelan Sistem Distribusi 20 KV Surabaya Utara.....	35
4.2 Studi Kasus dan Analisis.....	41
4.2.1 Penyulang Surabaya pada kasus ke-1.....	41
4.2.2 Penyulang Surabaya pada kasus ke-2.....	45
4.2.2.1 Rekonfigurasi penyulang menggunakan <i>Binary Integer Programming</i>	47
4.2.2.2 Penentuan lokasi dan kapasitas DG menggunakan <i>Particle Swarm Optimization</i>	52
4.2.3 Penyulang Surabaya pada kasus ke-3.....	54
4.2.3.1 Penentuan lokasi dan kapasitas DG pada penyulang Tunjungan.....	57
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63
RIWAYAT PENULIS	69

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1	Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder	5
Gambar 2.2	Sistem distribusi radial	6
Gambar 2.3	Sistem distribusi loop	7
Gambar 2.4	Sistem distribusi spindel.....	8
Gambar 2.5	Tipikal bus pada sistem jaringan tenaga listrik.....	10
Gambar 2.6	Pemodelan jaringan untuk perhitungan rugi daya	11
Gambar 2.7	(a)Jaringan pasif (b) Jaringan aktif	13
Gambar 3.1	<i>Single line diagram</i> penyulang Kaliasin	17
Gambar 3.2	<i>Single line diagram</i> penyulang Basuki Rahmat.....	20
Gambar 3.3	<i>Single line diagram</i> penyulang Ometraco	22
Gambar 3.4	<i>Single line diagram</i> penyulang Tunjungan.....	24
Gambar 3.5	<i>Single line diagram</i> penyulang Tegalsari	27
Gambar 3.6	skema percabangan pada BIP	28
Gambar 3.7	Diagram alir perancangan software rekonfigurasi penyulang	29
Gambar 3.8	Diagram alir PSO	31
Gambar 3.9	Diagram alir PSO (lanjutan)	32
Gambar 4.1	<i>Single line diagram</i> perubahan penyulang Kaliasin	36
Gambar 4.2	<i>Single line diagram</i> perubahan penyulang Ometraco	37
Gambar 4.3	<i>Single line diagram</i> perubahan penyulang Basuki Rahmat	38
Gambar 4.4	<i>Single line diagram</i> perubahan penyulang Tunjungan...	39
Gambar 4.5	<i>Single line diagram</i> perubahan penyulang Tegalsari	40
Gambar 4.6	<i>Single line Diagram</i> Tunjungan saat rekonfigurasi	47
Gambar 4.7	<i>Single line Diagram</i> Ometraco saat rekonfigurasi.....	49
Gambar 4.8	<i>Single line Diagram</i> Tunjungan saat rekonfigurasi	55

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1	Jenis distributed generation	13
Tabel 2.2	Klasifikasi DG berdasarkan Teknologi pembangkitan ..	14
Tabel 3.1	Data saluran penyulang Kaliasin	16
Tabel 3.2	Data beban penyulang Kaliasin	16
Tabel 3.3	Data saluran penyulang Basuki Rahmat.....	17
Tabel 3.4	Data beban penyulang Basuki Rahmat.....	19
Tabel 3.5	Data saluran penyulang Ometraco	21
Tabel 3.6	Data beban penyulang Ometraco	21
Tabel 3.7	Data saluran penyulang Tunjungan.....	23
Tabel 3.8	Data beban penyulang Tunjungan.....	23
Tabel 3.9	Data saluran penyulang Tegalsari	25
Tabel 3.10	Data beban penyulang Tegalsari	26
Tabel 4.1	Studi case simulasi	41
Tabel 4.2	Hasil aliran daya penyulang Kaliasin kasus 1	41
Tabel 4.3	Hasil aliran daya penyulang Tunjungan kasus 1	42
Tabel 4.4	Hasil aliran daya penyulang Ometraco kasus 1	42
Tabel 4.5	Hasil aliran daya penyulang Tegalsari kasus 1	43
Tabel 4.6	Hasil aliran daya penyulang Basuki Rahmat kasus 1	44
Tabel 4.7	Data pembebanan penyulang Tunjungan kasus 2	45
Tabel 4.8	Hasil aliran daya penyulang Tunjungan kasus 2	46
Tabel 4.9	Hasil aliran daya penyulang Tunjungan setelah rekonfigurasi	48
Tabel 4.10	Data saluran penyulang Ometraco setelah rekonfigurasi	49
Tabel 4.11	Data beban penyulang Ometraco setelah rekonfigurasi	50
Tabel 4.12	Hasil aliran daya penyulang Ometraco setelah rekonfigurasi	52
Tabel 4.13	Hasil simulasi penyulang Ometraco setelah pemasangan DG	53
Tabel 4.14	Lokasi penempatan dan kapasitas DG	54
Tabel 4.15	Hasil aliran daya penyulang Tunjungan stelah rekonfigurasi	55
Tabel 4.16	Hasil aliran daya penyulang Tunjungan setelah pemasangan DG	57
Tabel 4.17	Lokasi penempatan dan kapasitas DG	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat telah membawa dampak yang cukup besar terhadap kehidupan manusia untuk mempelajari dan mengembangkan ilmu pengetahuannya. Perkembangan yang begitu pesat ini menyebabkan peningkatan pada kebutuhan pasokan daya listrik. Semakin meningkatnya kesejahteraan masyarakat, membuat pemakaian energi listrik menjadi semakin meningkat. Peningkatan pemakaian energi listrik inilah yang berpotensi terjadinya kontingensi. Kontingensi sering terjadi di sistem distribusi tenaga listrik, kontingensi merupakan suatu kejadian yang tidak diinginkan dan dapat berupa beban lebih pada penyulang, terputusnya saluran, ataupun rusaknya transformator. Keadaan kontingensi ini tidak boleh dibiarkan terus-menerus, karena dapat mengurangi kualitas energi listrik yang disalurkan, meningkatnya rugi-rugi daya pada saluran dan terjadi penurunan keandalan sistem tenaga listrik serta dapat merusak peralatan sistem tenaga yang terkena dampak kontingensi.

Rekonfigurasi dalam jaringan distribusi sistem tenaga listrik adalah mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan cara mengoperasikan *sectionalizing switches*/LBS yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi rugi daya pada jaringan distribusi dan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi sehingga efisiensi daya yang disalurkan dan pelayanan daya pada pelanggan meningkat.

Pemanfaatan DG (*Distributed Generation*) dalam beberapa tahun ini berkembang sangat pesat dikarenakan DG memiliki kelebihan dibandingkan dengan pembangkit konvensional. Penempatan DG pada jaringan sistem tenaga listrik dapat mengoptimalkan sistem distribusi sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan level tegangan.

Pada tugas akhir ini, metode yang digunakan untuk memilih kombinasi rekonfigurasi pada jaringan distribusi adalah *Binary Integer Programming*, sedangkan untuk penempatan lokasi dan kapasitas DG yang optimum menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*. Kedua metode ini diharapkan menjadi solusi yang optimal untuk mengatasi kontingensi, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengatasi masalah kontingensi pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik.
2. Menentukan cara rekonfigurasi dengan metode BIP dan penentuan lokasi DG dengan metode PSO.
3. Mengurangi rugi-rugi daya yang disebabkan oleh kontingensi.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini yang hendak dicapai adalah mempelajari cara mengatasi kontingensi pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik dengan cara mengkonfigurasi ulang penyulang dengan metode BIP (*Binary Integer Programming*) dan menentukan lokasi dan kapasitas DG dengan menggunakan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*).

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Software yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah MATLAB.
2. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah mengurangi total rugi-rugi daya nyata.
3. Kontingensi yang dimaksud adalah beban lebih pada penyulang dan rusaknya transformator pada penyulang.
4. Evaluasi yang dilakukan yaitu mengenai rekonfigurasi jaring distribusi di 5 penyulang di Surabaya Utara.
5. Rekonfigurasi penyulang menggunakan metode BIP dan penempatan DG menggunakan metode PSO.
6. Penggunaan metode BIP dan PSO dilakukan secara bertahap.
7. Analisa aliran daya tidak dibahas secara detail.

1.5 Metodologi Tugas Akhir

Pada tugas akhir ini dibuat program untuk mendapatkan rekonfigurasi dan penempatan DG dengan mengimplementasikan metode optimasi BIP (*Binary Integer Programming*) dan PSO (*Particle Swarm Optimization*). Program dibuat dengan menggunakan software Matlab. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literature
Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, Paper dan melakukan *browsing* mengenai metode BIP dan PSO serta penerapannya pada beberapa kasus serupa.
2. Pengumpulan data
Data yang dikumpulkan meliputi data beban dari jaringan distribusi Surabaya Utara, data resistansi dan reaktansi dari jaringan data hasil pengujian dengan metode yang berbeda, dan data-data lain yang diperlukan.
3. Pemodelan program
Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG. Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui hasil aliran daya, konfigurasi jaringan yang baru serta dapat menentukan penempatan DG pada jaringan.
4. Perancangan perangkat lunak
Perancangan perangkat lunak untuk memperoleh rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal DG. Perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
5. Simulasi dan analisis
Simulasi program terbagi menjadi dua tahap. Tahap pertama melakukan pengujian rekonfigurasi akibat kontingensi untuk mendapatkan nilai rugi-rugi daya yang paling terkecil. Tahap kedua melakukan pengujian penempatan DG dari hasil data tahap pertama.
6. Penyusunan laporan
Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

- Bab 1: Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.
- Bab 2: Dasar teori yang menjelaskan sistem distribusi secara umum, rekonfigurasi jaringan, pembangkit tersebar (DG)

dan analisis aliran daya.

Bab 3: Bab ini membahas tentang sistem distribusi 20 KV, menampilkan data dan single line diagram sistem distribusi 20 KV, perancangan sistem rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG untuk memecahkan permasalahan kontingensi.

Bab 4: Hasil simulasi rekonfigurasi jaringan dengan metode BIP dan penempatan DG dengan metode PSO akibat kontingensi, untuk mengurangi rugi-rugi daya nyata.

Bab 5: Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran yang sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam kurangnya alat pengukuran dan penempatan sensor secara optimal pada sistem tenaga listrik.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang Sistem Tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

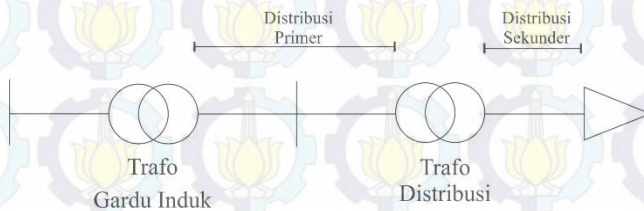
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem yang penyaluran daya listriknya langsung terhubung dengan beban atau langsung ke pelanggan dalam sistem suplai energi listrik sehingga sistem ini lebih mendapatkan perhatian lebih dibandingkan sistem pembangkitan dan transmisi terutama oleh pelanggan. Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi 2 menurut posisi yang ditunjukkan pada gambar 2.1 :

1. Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah)
2. Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan menengah)



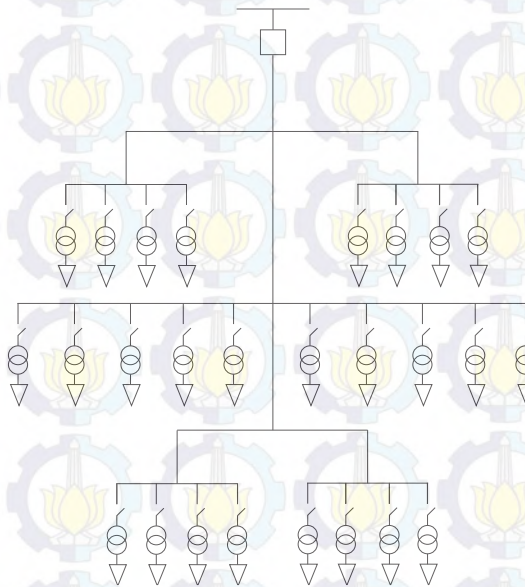
Gambar 2.1 Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder

Jaringan distribusi primer menyalurkan tenaga listrik pada tegangan menengah. Lokasi jaringan tersebut terletak sebelum trafo distribusi. Jaringan tersebut menghubungkan antara sisi sekunder trafo gardu induk dengan sisi primer trafo distribusi. Pada Jaringan distribusi sekunder menyalurkan tenaga listrik pada tegangan rendah 220V/380V. Lokasi jaringan terletak setelah trafo distribusi. Jaringan distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder pada trafo distribusi dengan sisi konsumen.

Jaringan distribusi juga bisa dibagi berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dibagi menjadi 3 konfigurasi :

- a. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Pada bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana dan banyak digunakan. Hal ini disebabkan biaya untuk membentuk jaringan ini cukup murah. Jaringan ini dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber dan dicabang – cabangkan ke titik beban. Hal ini dapat diperlihatkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Sistem distribusi radial

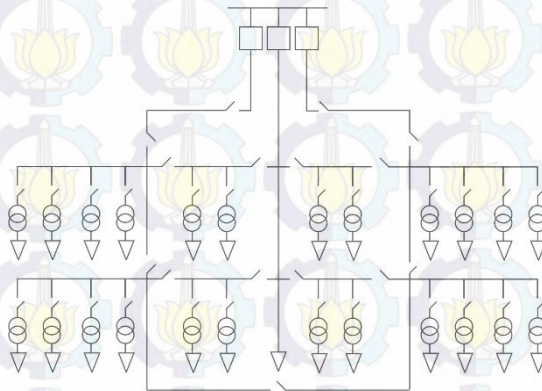
Sumber yang berasal dari satu titik dan terdapat percabangan- percabangan penyebab perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Hal ini menyebabkan perbedaan luas penampang konduktor. Sehingga saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk maka memiliki luas penampang yang lebih besar dan saluran cabang-cabangnya semakin mendekati ujung maka luas penampang semakin kecil.

Pada konfigurasi ini memiliki kekurangan dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan kurang baik. Kualitas daya kurang baik disebabkan oleh rugi tegangan dan rugi daya yang relatif besar. Hal yang mempengaruhi semakin buruknya kualitas daya adalah besar nilai impedansi dan nilai arus yang melewati saluran. konfigurasi ini memiliki kontinuitas yang kurang baik disebabkan hanya memiliki

satu alternatif saluran. sehingga saat saluran terjadi gangguan maka saluran sesudah gangguan akan mengalami pemadaman total selama permasalahan belum teratasi .

b. Sistem Jaringan Distribusi Loop

Pada konfigurasi ini membentuk jaringan tertutup sehingga memiliki nama lain yaitu jaringan ring. Konfigurasi jaringan memungkinkan beban dilayani oleh dua arah saluran sehingga kontinuitas pelayanan lebih baik. Kontinuitas daya lebih baik karena saat terjadi gangguan pada salah satu saluran maka saluran setelah gangguan mampu di suplai oleh sumber lain. Dapat terlihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Sistem distribusi loop

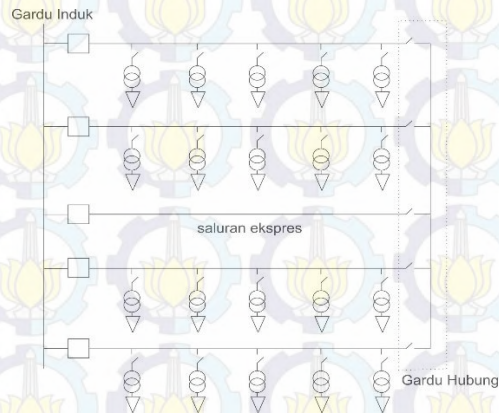
Konfigurasi diatas membuat keandalan sistem jaringan ini lebih baik dari jaringan radial. Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada dua macam, yaitu :

- Open Loop
Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi normally open switch sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu terbuka.
- Close Loop
Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi normally close switch sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu tertutup..Pada sistem ini memiliki kekurangan dalam

hal investasi yang lebih mahal. Sistem ini digunakan pada daerah padat dan memerlukan keandalan tinggi.

c. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Saluran konfigurasi spindel yang menggunakan kabel tanah tegangan menengah yang digunakan untuk kota-kota besar. Sistem jaringan spindle menggunakan saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan gardu hubung. Saluran ini digunakan untuk pemasok energi listrik cadangan untuk gardu hubung seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem distribusi spindel

Saat saluran mengalami gangguan, maka saklar pada bagian yang terganggu akan dibuka. Kemudian saluran lain yang terhubung oleh gardu hubung mendapat suplai dari saluran ekspres sehingga bagian yang tidak terganggu akan tetap tersuplai energi.

2.2 Rekonfigurasi jaringan

Rekonfigurasi pada sistem distribusi energi listrik dilakukan dengan cara mengubah status buka atau menutupnya saklar yang bertujuan untuk meminimalkan rugi-rugi, dan mengatasi setiap permasalahan yang ada di sistem tenaga listrik

Rekonfigurasi dapat juga digunakan untuk meningkatkan keandalan dari suatu sistem distribusi. Pada PLN tingkat keandalan dapat direpresentasikan dengan nilai SAIDI,SAIFI,dan CAIDI. Dengan menggunakan LRS(*Loop Restoration Scheme*) didapatkan suatu konfigurasi sistem distribusi yang baru dan lebih handal dari kondisi

sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan adanya penambahan *Sectional Switch* dan *Automatic Recloser* pada setiap penyulang.[1]

Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dilakukan dengan tujuan mengurangi rugi – rugi daya total. Secara prinsip, rekonfigurasi merupakan cara untuk meminimumkan jarak antara beban dan suplai daya sehingga di dapat rugi – rugi yang minimal pula. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memasang *Tie Switch* secara tepat sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya total. metode algoritma genetika dapat digunakan sebagai solusi untuk memecahkan masalah pengoptimalan jaringan, dalam hal ini untuk meminimumkan rugi – rugi daya.[2]

2.3 Aliran Daya [3]

Studi aliran daya atau yang biasa diketahui dengan sebutan *load flow*, merupakan bagian penting dari analisis aliran daya yang dibutuhkan untuk perencanaan, *economic scheduling*, dan pengontrolan sistem yang telah ada dan juga dapat merencanakan perluasan ke depannya. Informasi dasar yang diperoleh dari studi aliran daya adalah magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dan aliran daya reaktif dan aktif pada setiap saluran. Dalam pemecahan permasalahan aliran daya, sistem diasumsikan dalam keadaan beroperasi dibawah kondisi seimbang. Pada sistem bus terdapat beberapa jenis bus, yaitu :

1. Bus Tidak Aktif (*Slack Bus*)
Merupakan bus yang digunakan sebagai referensi dimana terdapat spesifikasi magnitudo dan sudut fasanya.
2. Bus Beban (*Load Bus*)
Merupakan bus yang terdapat spesifikasi berupa daya aktif dan daya reaktif sedangkan magnitudo dan sudut fasanya tidak diketahui. Bus ini biasa disebut P-V Bus
3. *Voltage-Controlled Bus (Regulated Bus)*
Bus ini merupakan bus generator yang memiliki spesifikasi berupa daya aktif dan magnitudo tegangannya. Batasan nilai untuk daya reaktif juga diketahui, Sudut fasa dari tegangannya tidak diketahui.

2.3.1 Persamaan Aliran Daya

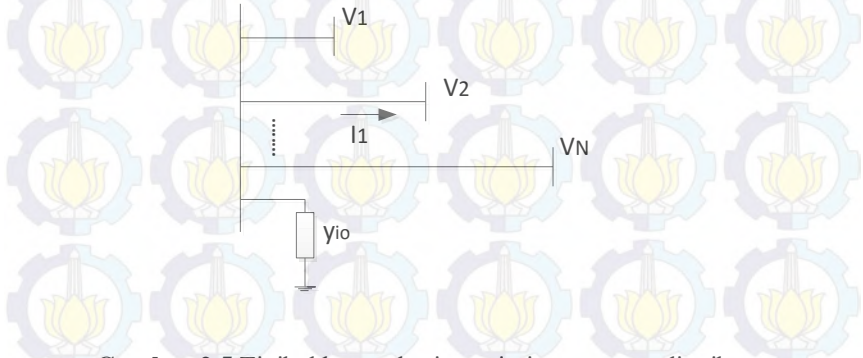
Berdasarkan tipikal bus dalam jaringan, ditunjukkan gambar 2.1, saluran mempunyai impedansi yang telah diubah menjadi admitansi untuk MVA *base* tertentu.

$$I_i = y_{i0} \cdot V_i + y_{i1} \cdot (V_i - V_1) + \dots + y_{iN} \cdot (V_i - V_N) \quad (2.1)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{iN}) \cdot V_i - y_{i1} \cdot V_1 - \dots - y_{iN} \cdot V_N$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis menjadi :

$$I_i = V_i \cdot \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad j \neq i \quad (2.2)$$



Gambar 2.5 Tipikal bus pada sistem jaringan tenaga listrik

Daya nyata dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.3)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.4)$$

Dengan mensubsitusi persamaan (2.2) ke (2.4)

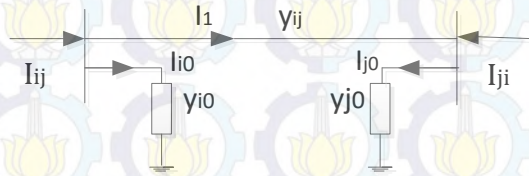
$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \cdot \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad (2.5)$$

Dari penjabaran diatas, perhitungan aliran daya menghasilkan persamaan aljabar nonlinier yang harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

2.3.2 Rugi-Rugi Dan Aliran Daya

Setelah tegangan bus pada setiap bus diperoleh maka langkah selanjutnya adalah perhitungan aliran daya dan rugi-rugi saluran.

Beberapa metode yang umum digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya antara lain Gauss-Seidel, Newton-Raphson, dan sebagainya.



Gambar 2.6 Pemodelan jaringan untuk perhitungan rugi daya

Arus yang mengalir dari bus i ke j dapat ditulis sebagai berikut

$$I_{ij} = I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0} \cdot V_i \quad (2.6)$$

Dengan cara yang sama, arus yang mengalir dari bus j ke bus i atau arus yang mengalir berlawanan dengan persamaan 2.6 adalah

$$I_{ji} = -I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0} \cdot V_j \quad (2.7)$$

Selanjutnya perhitungan *losses* jaringan dapat dilakukan. Daya total S_{ij} yang mengalir dari bus i ke j dan total S_{ji} yang mengalir dari bus j ke i adalah

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* = V_i \left(\frac{V_i - V_j}{z_{ij}} + V_i Y_{ij0} \right)^* \quad (2.8)$$

$$S_{ji} = V_j \cdot I_{ji}^* = V_j \left(\frac{V_j - V_i}{z_{ji}} + V_j Y_{ji0} \right)^* \quad (2.9)$$

Sehingga rugi-rugi dari bus i ke j adalah penjumlahan aljabar dari aliran daya berdasarkan persamaan (2.8) dan (2.9)

$$S_{L\ ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.10)$$

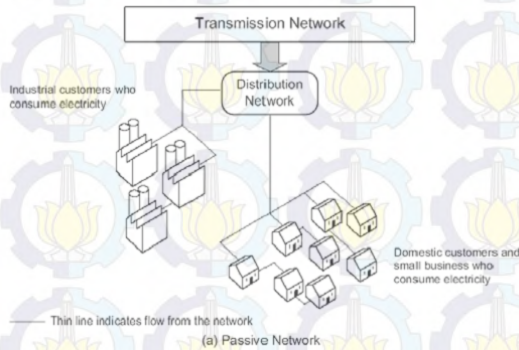
Maka rugi saluran didapatkan dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 P_i &= \sum_{j=1}^{no \text{ bus}} (S_{ij} + S_{ji}) \\
 &= \sum_{j=1}^{no \text{ bus}} \{(P_{ij} + jQ_{ij}) + (P_{ji} + jQ_{ji})\} \quad (2.11)
 \end{aligned}$$

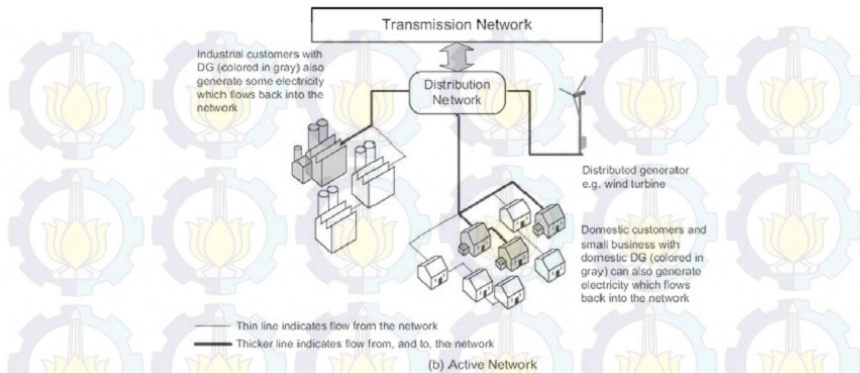
2.4 Distributed Generation

Distributed generation (DG) memiliki beberapa definisi yang berbeda tetapi memiliki maksud yang sama yaitu *distributed generation* (DG) adalah pembangkit tenaga listrik yang berdiri sendiri diluar pembangkit utama pada jaringan, kadang terhubung dengan sistem distribusi utama untuk memenuhi kebutuhan konsumen dan memiliki kapasitas pembangkitan lebih kecil daripada pembangkit energy listrik utama.

Pemasangan DG pada sistem distribusi biasa dilakukan untuk mengurangi drop tegangan yang dapat menyebabkan rugi-rugi daya pada saluran distribusi. Pada jaringan yang terhubung dengan DG biasa disebut dengan jaringan aktif dimana terdapat aliran daya yang mengalir menuju ke sistem jaringan.



Lanjutan Gambar 2.7



Gambar 2.7 (a) Jaringan pasif (b) Jaringan aktif

Penempatan dan penentuan besar kapasitas dari DG sangat berperan penting dalam menangani rugi-rugi daya dan menaikkan profil tegangan pada sistem distribusi.

DG sendiri mulai banyak dikembangkan di beberapa negara. Dengan adanya DG yang menggunakan generator ukuran kecil dengan tingkat emisi yang rendah bahkan ada yang memiliki tingkat emisi hampir mendekati 0%. Hal ini dapat mendukung terlaksanakannya kebijakan tentang pengurangan jumlah emisi yang ditimbulkan dan kebijakan tentang merubah sistem monopoli energy listrik yang bersifat terpusat menjadi lebih kompeten dimana pihak lain juga dapat menjual energy listrik kepada konsumen sehingga dapat menimbulkan persaingan dan dapat menekan harga energy listrik menjadi lebih murah.

Kapasitas dari pembangkitan DG beragam mulai dari 1 Watt hingga terbesar yaitu 300MW. Berikut ini merupakan klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkit yang dimiliki

Tabel 2.1 Jenis distributed generation

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5kW
Small DG (DG Kecil)	5kW – 5MW
Medium DG (DG sedang)	5MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50MW – 300 MW

Berdasarkan teknologi pembangkitan yang digunakan[4], DG dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Klasifikasi DG berdasarkan Teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
Fossil Fuel	
Combined Cycle Gas Turbine (CCGT)	35-400 MW
Internal combustion engines	5 kW-10 MW
Combustion turbine	1-250 MW
Micro-Turbines	35 kW-1 MW
Renewable Resources	
Small hydro	1-100 MW
Micro hydro	25 kW-1 MW
Wind turbine	200 Watt-3 MW
Photovoltaic arrays	20 Watt-100 kW
Solar terminal, central receiver	1-10 MW
Solar terminal, Lutz system	10-80 MW
Biomass, e.g. based on gastification	100 kW-20 MW
Fuel cells, phosacid	200 kW-2 MW
Fuel cells, solid oxide	250 kW-2 MW
Geothermal	5-100 MW
Ocean energy	100 kW – 1 MW
Stirling engine	2 – 10 kW
Battery storage	500kW – 5 MW

Adapun keuntungan yang dapat diambil dari penggunaan DG antara lain yaitu :

1. DG yang pemasangannya berada dekat dengan daerah beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efesiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efesiensi sistem karena DG membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini dijelaskan mengenai bagaimana perancangan sistem untuk mengatasi kontingensi pada penyulang Surabaya, mulai dari penggunaan metode BIP untuk rekonfigurasi dan penggunaan metode PSO untuk penempatan DG yang optimal.

3.1 Sistem Distribusi 20 KV Di Surabaya

Kota Surabaya adalah salah satu kota besar di Indonesia yang memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan memiliki kompleks industri. Hal itulah yang membuat kota Surabaya memiliki tingkat konsumsi listrik yang tinggi. PLN membagi tiga daerah wilayah listrik di Surabaya yaitu Surabaya Utara, Surabaya Barat dan Surabaya Selatan.

Sistem distribusi di kota Surabaya menggunakan jaringan distribusi radial 3 fasa tanpa pembagian fasa di setiap bus gardu distribusi. Artinya di setiap bus disuplai oleh penyulang dengan komposisi tiga fasa penuh. Di kondisi lapangan setiap fasa menyuplai untuk kondisi beban yang tidak seimbang. Namun pada tugas akhir ini simulasi program dalam kondisi tiga fasa seimbang dan mengatasi masalah kontingensi pada penyulang Surabaya Utara.

Pada sistem distribusi 20 KV Surabaya dalam tugas akhir ini menggunakan lima penyulang (*feeder*) yaitu :

- a. GI Simpang
 - Penyulang Tunjungan
 - Penyulang Ometraco
- b. GI Kupang
 - Penyulang Basuki Rahmat
 - Penyulang Kaliasin
 - Penyulang Tegalsari

Berikut ini adalah data-data penunjang dari beberapa penyulang yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

3.1.1 Penyulang Kaliasin

Pada penyulang Kaliasin ini terdiri dari beberapa kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan beban

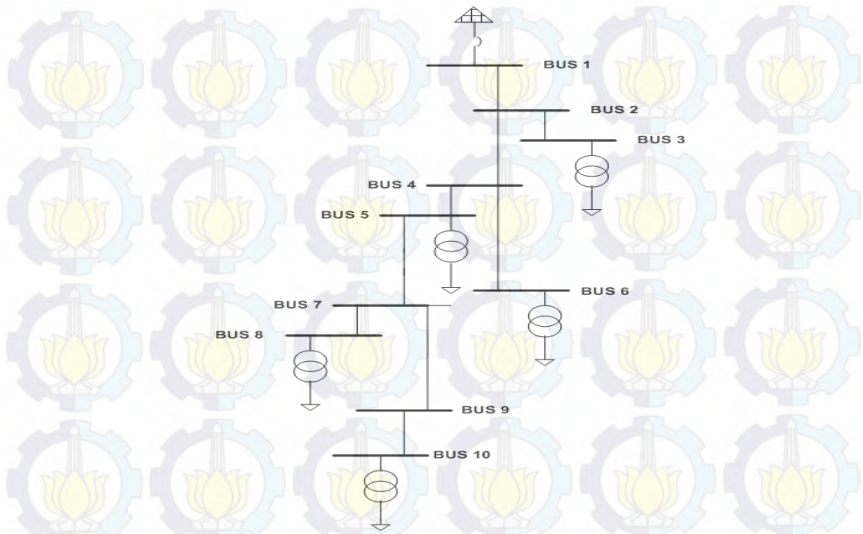
Tabel 3.1 Data saluran penyalang Kaliasin

Bus	Bus	Impedansi Saluran	
		R (ohm)	X (ohm)
1	2	2,65	1,3
2	3	0,053	0,026
2	4	0,663	0,333
4	5	0,103	0,051
4	6	0,105	0,052
4	7	0,138	0,068
7	8	0,61	0,299
7	9	0,14	0,069
9	10	0,53	0,53

Tabel 3.2 Data beban penyalang Kaliasin

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0	0
3	0.399	0.241
4	0	0
5	0.517	0.324
6	0.229	0.153
7	0	0
8	0.424	0.249
9	0	0
10	0.109	0.0272

Berikut ini Gambar 3.1 adalah *Single line diagram* penyulang Kaliasin.



Gambar 3.1 *Single line diagram* penyulang Kaliasin

3.1.2 Penyulang Basuki Rahmat

Pada penyulang Basuki Rahmat ini terdiri dari beberapa kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan beban

Tabel 3.3 Data saluran penyulang Basuki Rahmat

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	1,489	0,731
2	3	0,265	0,13
2	4	0,066	0,033
2	5	0,062	0,031
2	6	0,265	0,13
6	7	0,133	0,065

Lanjutan **Tabel 3.3**

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
6	8	0,133	0,065
6	9	0,133	0,065
6	10	0,133	0,065
6	11	0,265	0,13
11	12	0,133	0,065
12	13	0,133	0,065
11	14	0,795	0,39
14	15	0,133	0,065
14	16	0,344	0,169
16	17	0,133	0,065
16	18	0,167	0,082
18	19	0,133	0,065
18	20	0,133	0,065
18	21	0,265	0,13
21	22	0,311	0,153
22	23	0,066	0,033
23	24	0,138	0,068
24	25	0,265	0,13
25	26	0,066	0,039
26	27	0,116	0,069
27	28	0,12	0,058
27	29	0,265	0,13

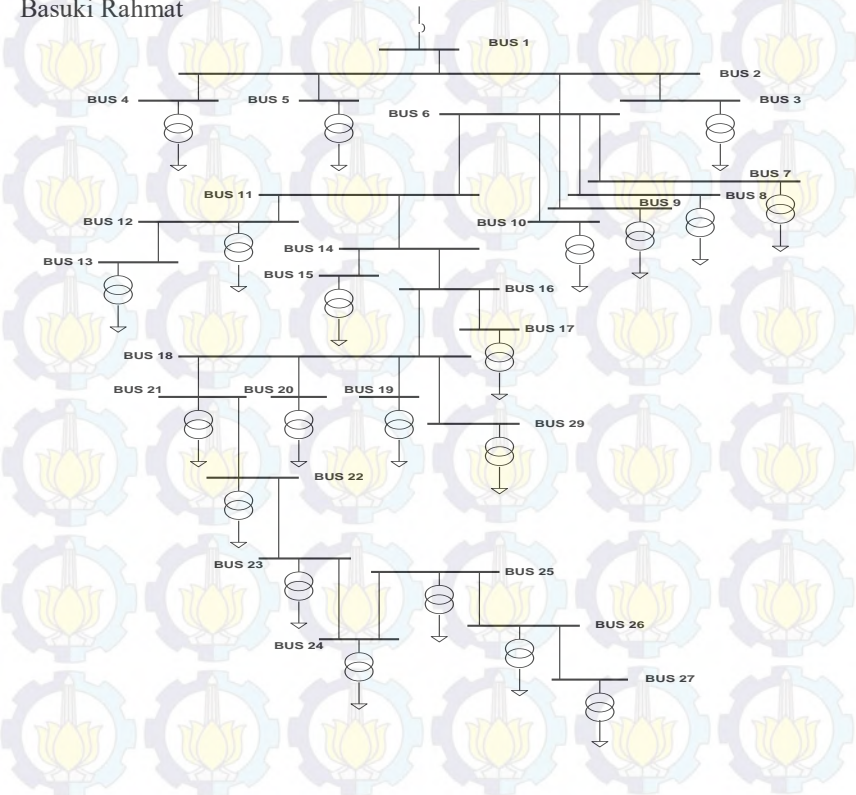
Tabel 3.4 Data beban penyulang Basuki Rahmat

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0	0
3	0,0951	0,0238
4	0,0099	0,0014
5	0,0128	0,0026
6	0	0
7	0,111	0,0158
8	0,198	0,0282
9	0,0216	0,0044
10	0,0088	0,0032
11	0	0
12	0,009	0,0018
13	0,151	0,0379
14	0	0
15	0,0021	0,0004
16	0	0
17	0,104	0,0148
18	0	0
19	0,0223	0,0056
20	0,0347	0,0049
21	0,0285	0,0094
22	0,0499	0,0071
23	0,0431	0,0088
24	0,0257	0,0037
25	0,0297	0,0042
26	0,0291	0,0041
27	0,0098	0,0014
28	0,0116	0,0029

Lanjutan **Tabel 3.4**

No bus	P(MW)	Q(MVar)
29	0,0342	0,048

Berikut ini Gambar 3.2 adalah *Single line diagram* penyulang Basuki Rahmat



Gambar 3.2 *Single line diagram* penyulang Basuki Rahmat

3.1.3 Penyulang Ometraco

Pada penyulang Ometraco ini terdiri dari beberapa kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan beban

Tabel 3.5 Data saluran penyulang Ometraco

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	1	0,491
2	3	0,265	0,13
3	4	0,048	0,234
4	5	0,265	0,13
4	6	0,286	0,14
5	7	0,265	0,13
6	8	0,265	0,13
8	9	0,265	0,13
8	10	0,265	0,13
10	11	0,265	0,13
7	12	0,265	0,13
12	13	0,265	0,13

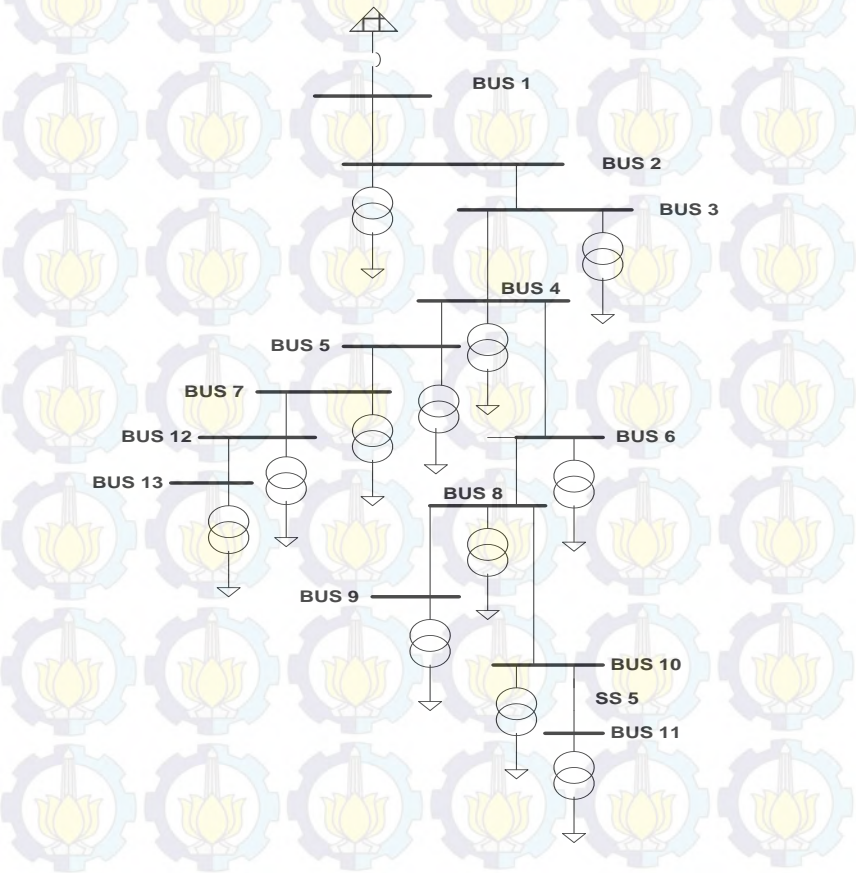
Tabel 3.6 Data beban penyulang Ometraco

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0,0807	0,0197
3	0,0225	0,0046
4	0,599	0,0197
5	0,026	0,0043
6	0,0411	0,0077
7	0,57	0,108
8	0,354	0,072
9	0,686	0,185
10	0,0497	0,0092
11	0,3287	0,0948

Lanjutan **Tabel 3.6**

No bus	P(MW)	Q(MVar)
12	0,121	0,0203
13	0,1209	0,0257

Berikut ini Gambar 3.3 adalah *Single line diagram* penyulang Ometraco



Gambar 3.3 *Single line diagram* penyulang Ometraco

3.1.4 Penyulang Tunjungan

Pada penyulang Tunjungan ini terdiri dari beberapa kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan beban.

Tabel 3.7 Data saluran penyulang Tunjungan

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	0,265	0,13
2	3	0,265	0,13
3	4	0,265	0,13
3	5	0,265	0,13
5	6	0,265	0,13
6	7	0,265	0,13
4	8	0,265	0,13
4	9	0,53	0,26
9	10	0,265	0,13
9	11	0,265	0,13
11	12	0,265	0,13

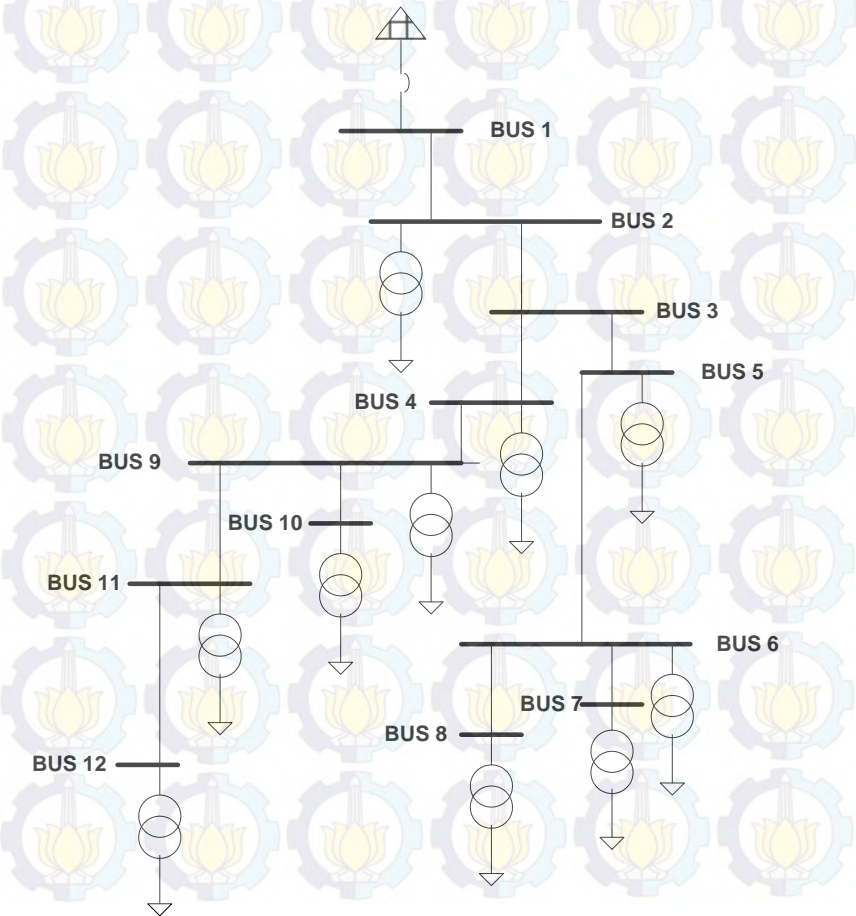
Tabel 3.8 Data beban penyulang Tunjungan

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0,2387	0,0322
3	0,254	0,07
4	0,0612	0,0178
5	0,1	0,025
6	0,524	0,355
7	0,2099	0,0573
8	0,3393	0,0421
9	0,601	0,13
10	0,2304	0,2062

Lanjutan **Tabel 3.8**

No bus	P(MW)	Q(MVar)
11	0,0691	0,0171
12	0,2951	0,2339

Berikut ini Gambar 3.4 adalah *Single line diagram* penyulang Tunjungan



Gambar 3.4 *Single line diagram* penyulang Tunjungan.

3.1.5 Penyulang Tegalsari

Pada penyulang Tegalsari ini terdiri dari beberapa kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan beban

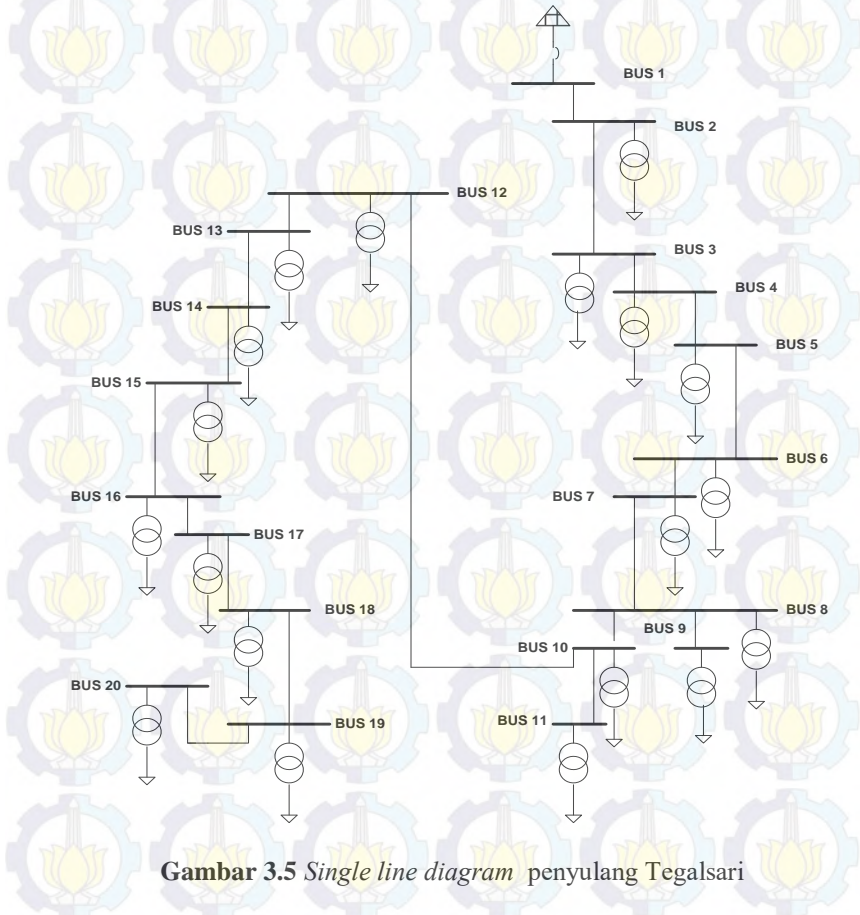
Tabel 3.9 Data saluran penyulang Tegalsari

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	0,134	0,066
2	3	1,494	0,242
3	4	0,217	0,106
4	5	0,101	0,05
5	6	0,403	0,197
6	7	0,127	0,063
7	8	0,559	0,274
8	9	0,133	0,065
8	10	0,546	0,268
10	11	0,717	0,352
10	12	1,502	0,737
12	13	0,66	0,324
13	14	0,083	0,041
14	15	0,643	0,315
15	16	0,089	0,043
16	17	0,171	0,084
17	18	0,265	0,13
18	19	0,06	0,029
19	20	0,089	0,044

Tabel 3.10 Data beban penyulang Tegalsari

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0,0317	0,0092
3	0,0337	0,0048
4	0,0256	0,0058
5	0,02	0,002
6	0,099	0,014
7	0,0256	0,0042
8	0,134	0,038
9	0,0217	0,0079
10	0,062	0,0012
11	0,108	0,0219
12	0,0236	0,0015
13	0,0218	0,0031
14	0,096	0,034
15	0,0297	0,0042
16	0,0211	0,0066
17	0,0333	0,0083
18	0,012	0,017
19	0,0524	0,0075
20	0,095	0,028

Berikut ini Gambar 3.5 adalah *Single line diagram* penyalang Tegalsari



Gambar 3.5 *Single line diagram* penyalang Tegalsari

3.2 Teori Binary Integer Programming

Binary Integer Programming (BIP) adalah suatu penyelesaian secara matematis yang memungkinkan hasil penyelesaian kasus program linear yang berupa bilangan pecahan diubah menjadi bilangan bulat tanpa meninggalkan optimalitas penyelesaian. Solusi yang didapat dari BIP adalah suatu vektor yang bernilai biner, yaitu 0 atau 1, yang akan

memberikan nilai minimum untuk suatu fungsi atau persamaan linier dengan batasan yang linier. BIP mengacu pada konsep branch and bound.

Algoritma *branching* atau percabangan ini akan melakukan proses pencarian dalam bentuk *tree* (pohon atau cabang). Pada tahap *branching* ini, algoritma akan memilih variabel x_j dan menambahkan batasan $x_j=0$ untuk satu cabang dan $x_j=1$ untuk cabang lainnya. Proses ini dapat dimisalkan dengan *binary tree* (percabangan biner). Hal ini akan membagi permasalahan menjadi sub-permasalahan yang lebih kecil seperti pada gambar di bawah.

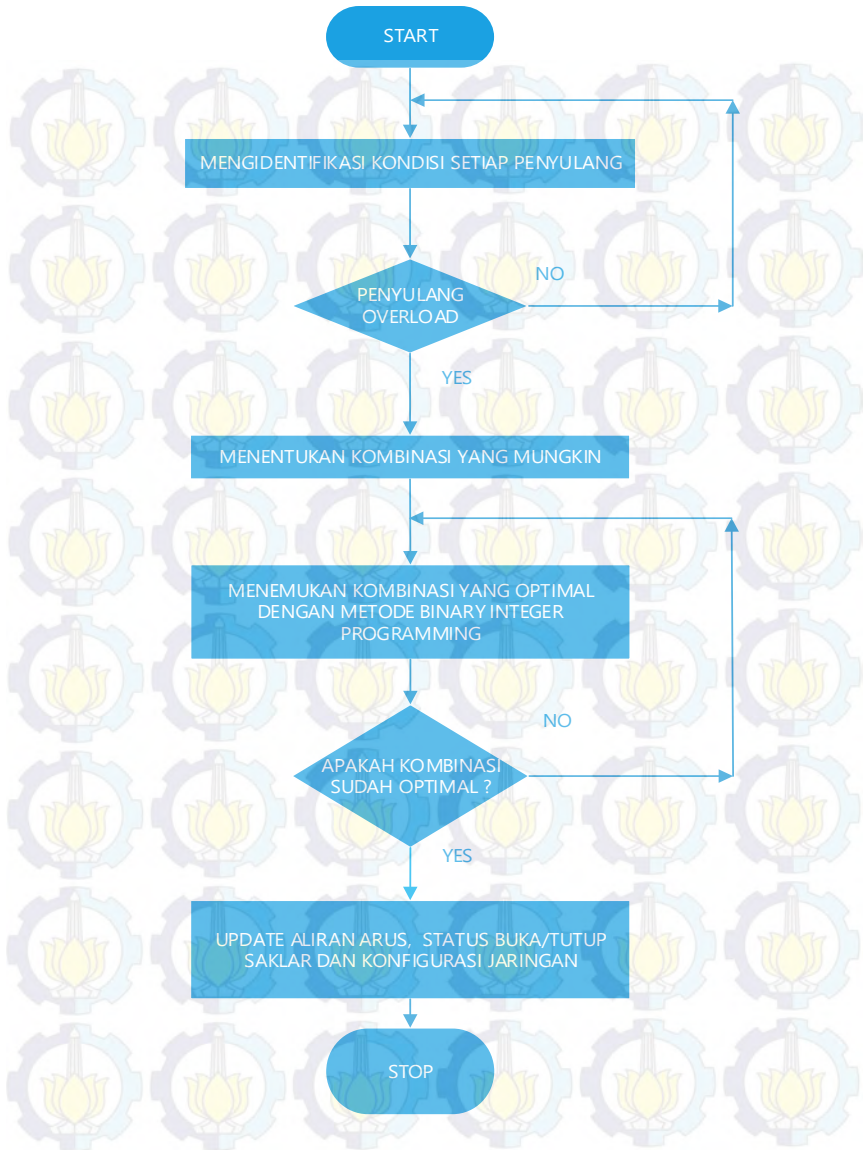


Gambar 3.6 skema percabangan pada BIP

Setelah diperoleh sub-sub permasalahan maka perlu diketahui suatu *bound* atau batasan yang menunjukkan seberapa bagus penyelesaian yang mungkin untuk fungsi tersebut. Seiring dengan bertambahnya cabang pada pencarian dalam *tree*, algoritma ini akan memperbarui batas minimum serta batas maksimum. Batasan ini menjadikan alasan untuk memotong atau tidak meneruskan percabangan yang tidak diperlukan karena memberikan hasil kurang optimal.

3.3 Perancangan software BIP

Untuk perancangan software untuk rekonfigurasi penyulang akibat kontingensi menggunakan software matlab. Program digunakan untuk mensimulasikan rekonfigurasi menggunakan metode BIP dan mengetahui aliran daya pada penyulang sehingga dapat diketahui kondisi dari penyulang. Dengan OOP kita dapat mencari kombinasi yang mungkin untuk mengatasi permasalahan yang terjadi. *Binary Integer Programming* digunakan untuk mencari kombinasi yang paling optimal. Proses perancangan program rekonfigurasi penyulang dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Diagram alir perancangan software rekonfigurasi penyulang

Persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan *Binary Integer Programming* adalah

$$\min_x f^T x \text{ such that } \begin{cases} A \cdot x \leq b, \\ A_{eq} \cdot x = b_{eq}, \\ x \text{ binary.} \end{cases}$$

- f : Matriks 1 x nk, berisi nilai losses dari masing-masing kombinasi
 A dan A_{eq} : Matriks nk x nk, semua komponen bernilai 1
 b dan b_{eq} : Matriks nk x 1, semua komponen bernilai 1

3.4 Teori *Particle Swarm Optimization*

Pertama kali algoritma *Particle Swarm Optimization* diperkenalkan oleh Dr. Kennedy dan Dr. Eberhart pada tahun 1995[5]. Dasar ide algoritma tersebut terinspirasi dari perilaku sosial hewan. Perilaku sosial berupa proses alami untuk saling berkomunikasi dalam berbagi pengetahuan individu ketika mencari makanan dan bermigrasi pada suatu kelompok seperti sekelompok burung, sekelompok lebah dan sebagainya. Saat salah satu anggota mendapatkan jalur yang diinginkan maka sisa anggota lain akan mengikuti secara cepat[6].

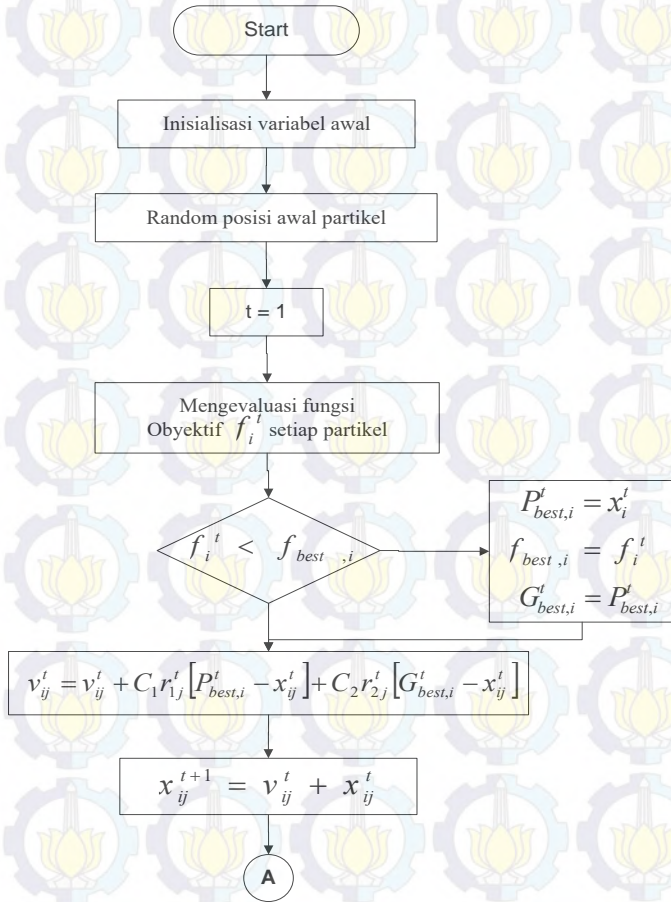
Particle swarm optimization (PSO) merupakan algoritma untuk mencari nilai fungsi minimum atau maksimum berdasarkan oleh populasi baru. PSO memiliki kelebihan dalam mencari nilai optimasi non-linear yang kompleks. *Particle swarm optimization* terbukti dapat menemukan solusi terbaik pada masalah optimisasi. Algoritma PSO dapat diaplikasikan untuk mendapatkan posisi penempatan DG yang optimal. Pada algoritma PSO terdapat model untuk mendapatkan nilai optimasi salah satunya Global Best PSO.

3.4.1 Global Best PSO

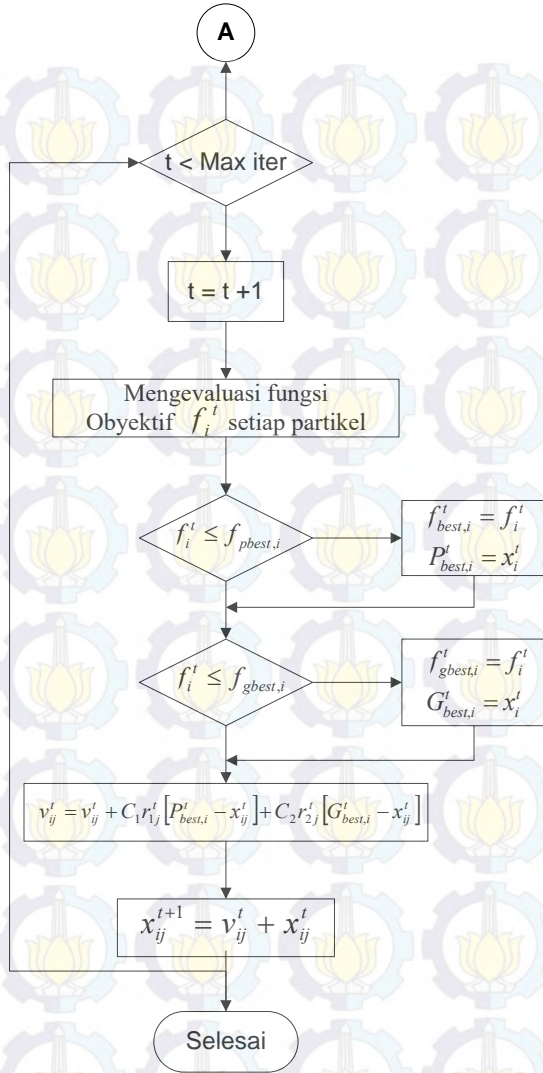
Metode global best PSO adalah metode yang posisi partikel dipengaruhi oleh partikel yang memiliki nilai terbaik pada sekumpulan partikel. Setiap partikel [7] memiliki posisi pada suatu ruang dan nilai pergerakan. Formula optimalisasi untuk mendapatkan minimal penempatan DG :

$$\text{Min} \sum_{k=1}^n \{G_{best,j}^k\} \quad (3.1)$$

Optimal penempatan DG didapatkan dari minimum penempatan DG dari partikel terbaik secara global ($G_{best,j}^k$). Nilai *fitness* pada metode PSO ini adalah rugi-rugi daya. Langkah – langkah untuk mendapatkan optimisasi[8] tersebut digambarkan pada diagram alir Gambar 3.8



Gambar 3.8 Diagram alir PSO



Gambar 3.9 Diagram alir PSO (lanjutan)

3.4.2 Inisialisasi Variabel Awal, Input Data PSO dan Proses Iterasi PSO

Variabel awal dan input data diperlukan untuk memulai algoritma PSO. Data yang harus didefinisikan antara lain :

1. Inisialisasi berupa jumlah partikel akan dipakai pada PSO, inisialisasi dan jumlah iterasi (k), nilai koefisien akselerasi ($c1$ dan $c2$), beban maksimum (w_{\max}) dan beban minimum partikel (w_{\min}).
2. Posisi awal partikel (x_{ij}^0) berupa nilai random sesuai besar dimensi pada setiap partikel.
3. Kecepatan awal partikel (v_{ij}^0) berupa nilai nol.

Data posisi partikel (x_{ij}^t) berupa matriks yang memiliki dimensi. Matrik posisi partikel memiliki dimensi yang dibentuk dari jumlah data tiap partikel (m) dan jumlah partikel pada swarm (n). Nilai data setiap partikel didapatkan secara random sesuai dimensi. Matriks akan ditunjukkan pada persamaan 3.2.

$$x_{ij}^k = \begin{bmatrix} x_{11}^k & x_{12}^k & \dots & x_{1m}^k \\ x_{21}^k & \dots & \dots & x_{2m}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1}^k & \dots & \dots & x_{nm}^k \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Nilai posisi partikel diperbarui pada setiap iterasi dengan dipengaruhi nilai velocity (v_i^{k+1}). Nilai velocity didapatkan dari pengalaman partikel (x_i^k) dan pengalaman yang diperoleh oleh partikel lain pada group ($P_{best,i}^k$ dan $G_{best,i}^k$). Velocity setiap partikel diperoleh dengan persamaan 3.3.

$$v_i^{k+1} = w^k \times v_i^k + c1 \times rand_1 \times (P_{best,i}^k - x_i^k) + c2 \times rand_2 \times (G_{best,i}^k - x_i^k) \quad (3.3)$$

Pengalaman partikel lain berupa partikel terbaik setiap terasi $P_{best,i}^k$ dan partikel terbaik pada interval iterasi $G_{best,i}^k$ akan sangat mempengaruhi pergerakan partikel. Koefisien akselerasi ($c1$ dan $c2$) berdampak besar kontribusi partikel $P_{best,i}^k$ dan $G_{best,i}^k$ terhadap velocity

partikel. Kondisi nilai $c1$ lebih besar dibanding $c2$ maka kontribusi partikel $P_{best,i}^k$ lebih besar dan sebaliknya.

Nilai inersia (w^k) akan selalu berubah pada setiap iterasi. Perubahan nilai akan dipengaruhi jumlah iterasi dan nilai beban inersia maksimum dan minimum (w_{max} dan w_{min}). Beban inersia memiliki interval sebesar perbedaan beban inersia maksimum dengan beban inersia minimum. Nilai beban inersia setiap iterasi diperoleh dengan persamaan 3.4 dibawah ini.

$$w^k = w_{max} - \frac{w_{max}-w_{min}}{w_{max}} x k \quad (3.4)$$

Setiap pergantian iterasi maka posisi partikel baru (x_j^{k+1}) didapatkan dengan menjumlahkan posisi partikel pada iterasi sebelumnya (x_j^k) dengan velocity (v_j^{k+1}). Nilai posisi pada setiap iterasi diperbarui dengan persamaan 3.5 dibawah ini.

$$x_j^{k+1} = x_j^k + v_j^{k+1} \quad (3.5)$$

Nilai personal best (P_{bestj}^k) didapatkan dengan mencari nilai minimum DG dan lokasi penempatan yang memiliki error pengukuran yang cukup akurat pada setiap iterasi. Partikel yang memiliki nilai DG paling minimum menjadi nilai personal best sesuai dengan perhitungan 3.6 dan 3.7 dibawah.

$$f(x_j^k) = \text{sum}(x_j^k) \quad (3.6)$$

$$P_{bestj}^{k+1} = \begin{cases} P_{bestj}^k & \text{if } f(x_j^{k+1}) > f_{pbestj}^k \\ x_j^{k+1} & \text{if } f(x_j^{k+1}) < f_{pbestj}^k \end{cases} \quad (3.7)$$

Nilai global best G_{bestj}^k didapatkan dengan mencari minimum penempatan DG dan kapasitasnya, diantara Pbest iterasi ke-k dengan global best iterasi k-1. G_{bestj}^k diganti dengan global best baru saat didapatkan fungsi hasil Pbest pada setiap iterasi lebih minimum dibandingkan Gbest iterasi sebelumnya. Nilai Gbest dirumuskan pada persamaan 3.8.

$$G_{bestj}^k = \min\{P_{pbest}^t\} \quad (3.8)$$

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

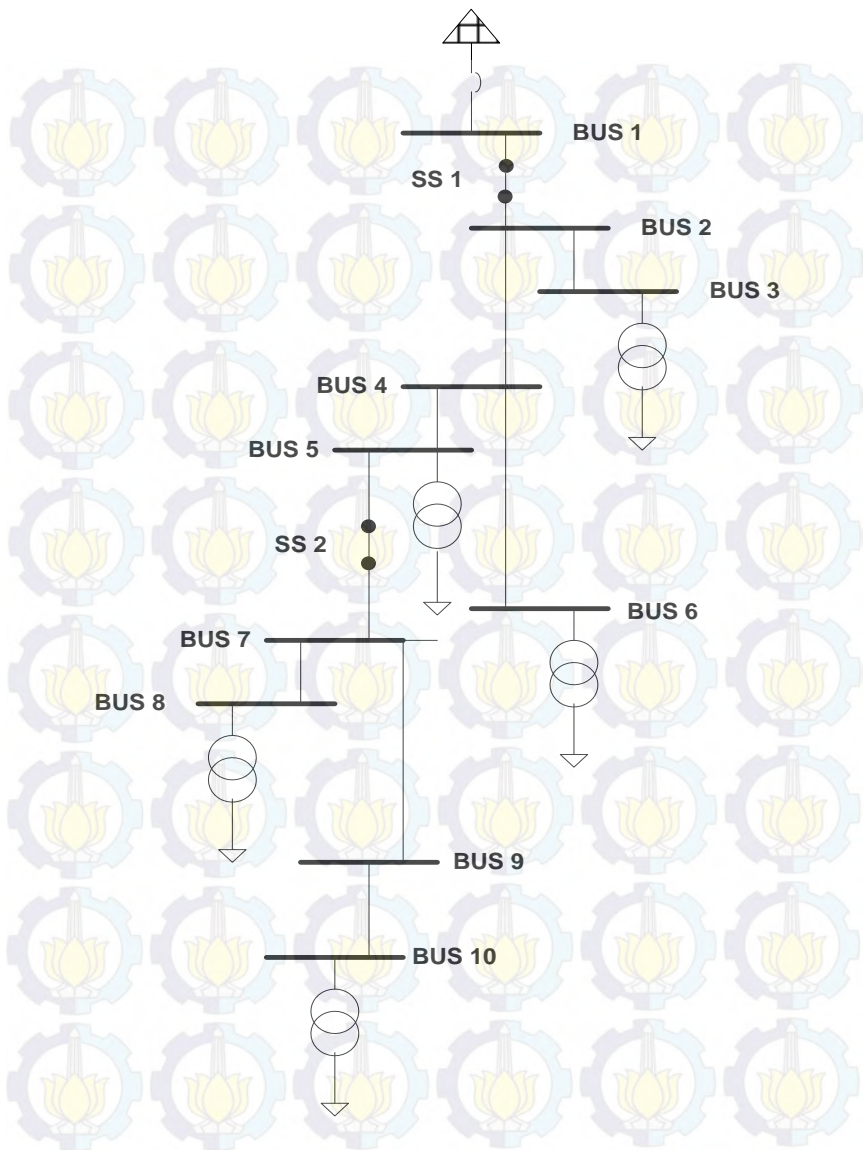
4.1 Pemodelan Sistem Distribusi 20 KV Surabaya Utara

Pada tugas akhir ini, analisis dilakukan saat penyulang Surabaya Utara terjadi kontingensi. Kontingensi yang dianalisis adalah *overload* sehingga tegangan turun dibawah standar yang telah ditentukan (*undervoltage*) dan mengakibatkan rugi-rugi daya yang cukup signifikan, *Transformator* pada salah satu penyulang mengalami trip sehingga terjadi pemadaman pada penyulang. Oleh karena itu, perlu adanya rekonfigurasi dan penempatan DG untuk mengatasi permasalahan diatas. Tugas akhir ini menganalisis lima penyulang pada sistem distribusi 20 KV Surabaya, yaitu :

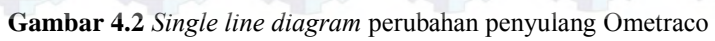
- a. GI Simpang
 - Penyulang Tunjungan
 - Penyulang Ometraco
- b. GI Kupang
 - Penyulang Basuki Rahmat
 - Penyulang Kaliasin
 - Penyulang Tegalsari

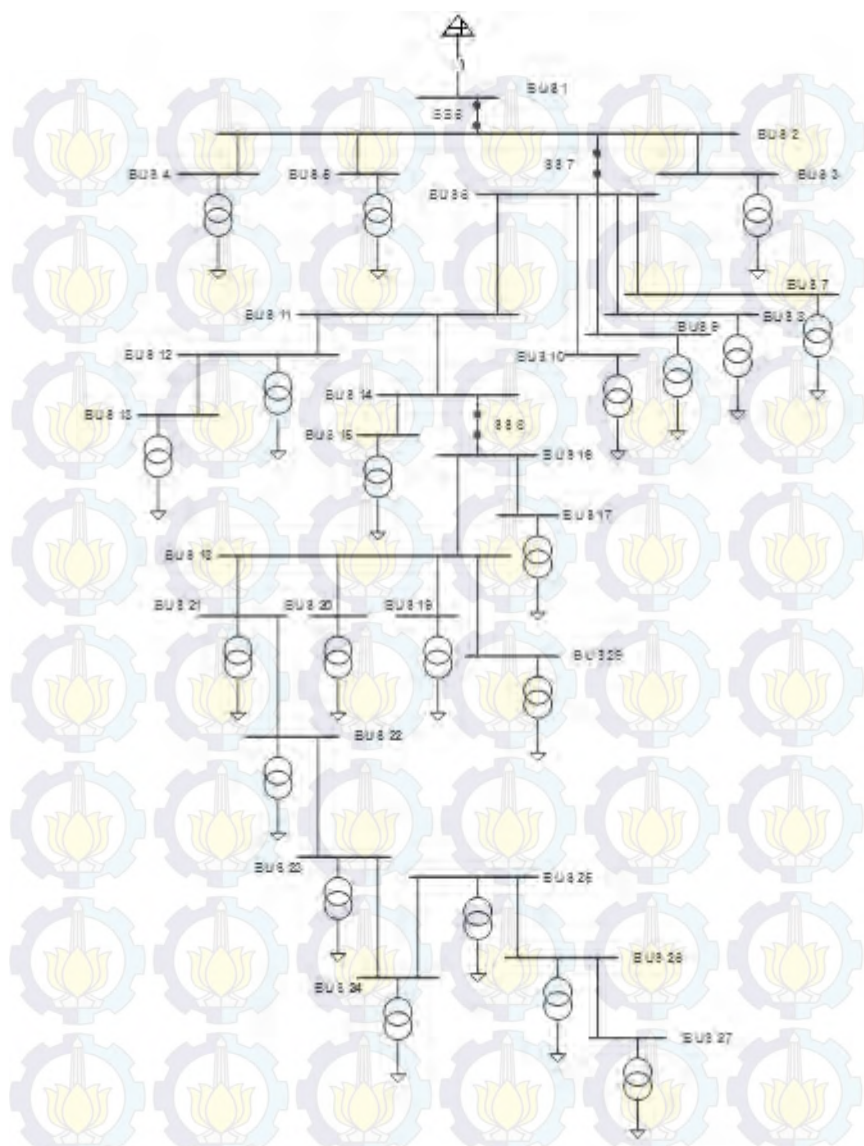
Pada simulasi rekonfigurasi untuk penyulang telah ditambahkan *sectional switch* dan *tie switch* agar dapat mensimulasikan rekonfigurasi dengan optimal. *Sectional switch* digunakan untuk membagi penyulang menjadi daerah-daerah sehingga lebih memudahkan dalam merekonfigurasi penyulang, selain itu *sectional switch* digunakan sebagai *fault isolation* sehingga daerah yang sedang mengalami masalah tidak memberikan dampak pada bus yang lain. Sedangkan *tie switch* berfungsi untuk memindahkan beban penyulang yang mengalami kontingensi ke penyulang lain agar masalah kontingensi dapat diatasi dengan optimal. Singlet line diagram untuk penyulang yang telah ditambahkan *sectional switch* ditunjukkan pada gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

Penempatan dan penentuan kapasitas DG dilakukan setelah rekonfigurasi, apabila penyulang yang mengalami *overload* dan penyulang yang mengalami trip mempunyai tegangan yang masih dibawah standar dan mempunyai rugi-rugi daya yang masih tinggi, sehingga mampu untuk memperbaiki tegangan dan memberikan penurunan rugi-rugi total jaringan.

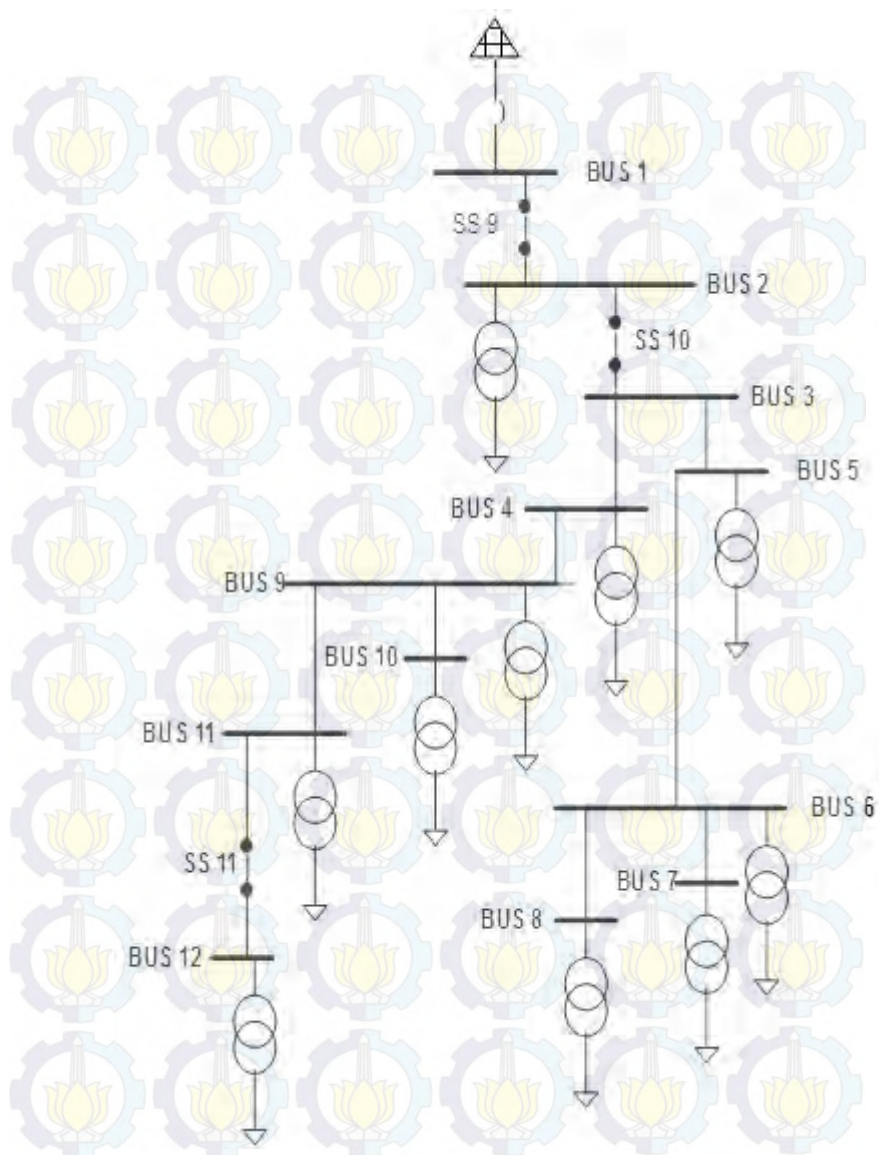


Gambar 4.1 *Single line diagram* perubahan penyulang Kaliasin

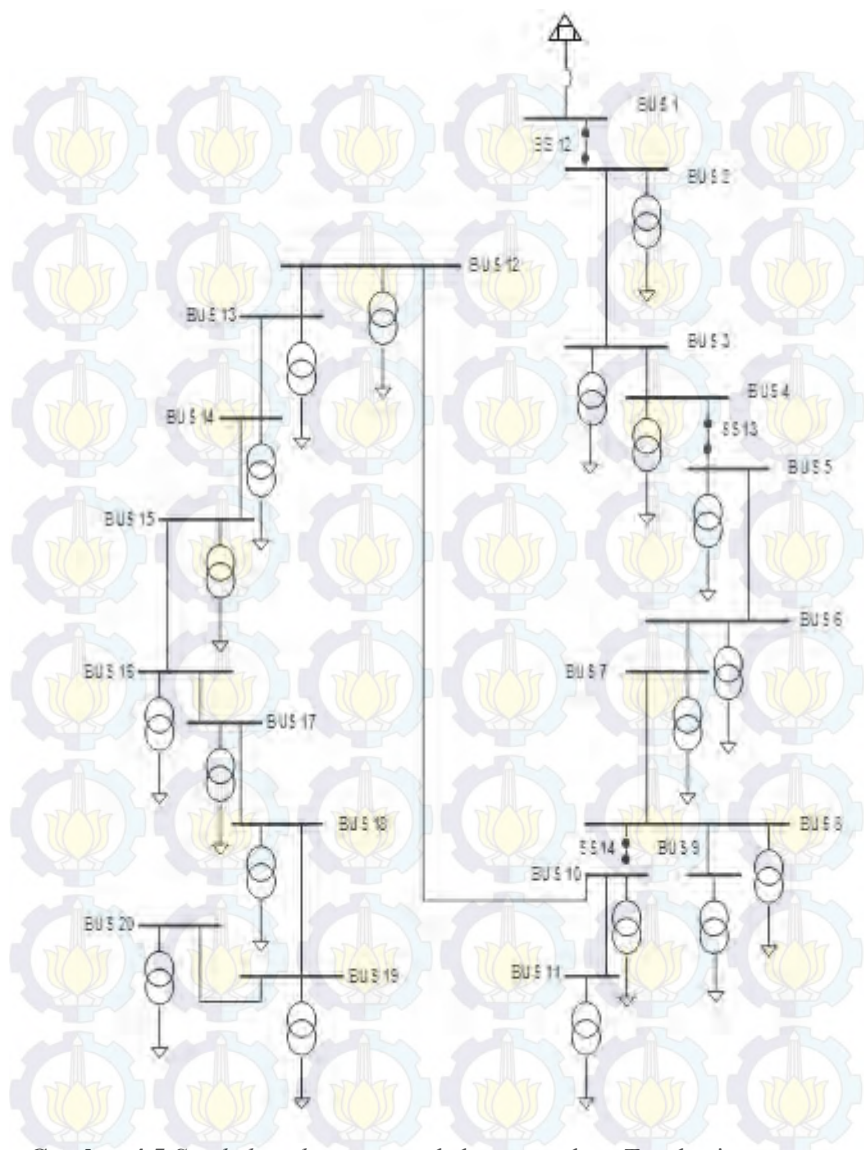




Gambar 4.3 *Single line diagram* perubahan penyulang Basuki Rahmat



Gambar 4.4 *Single line diagram* perubahan penyulang Tunjungan



Gambar 4.5 Single line diagram perubahan penyulang Tegalsari

4.2 Studi Kasus dan Analisis

Untuk mensimulasikan rekonfigurasi pada penyulang karena kontingensi digunakan kasus-kasus untuk mempermudah analisis yaitu :

Tabel 4.1 *Study case* simulasi

Case	Keterangan
1	Semua penyulang pada keadaan normal
2	Penyulang Tunjungan mengalami <i>overload</i>
3	Transformator penyulang Tegalsari mengalami <i>trip</i>

4.2.1 Penyulang Surabaya pada kasus ke-1

Pada studi kasus ke-1, hasil simulasi aliran daya saat normal dilakukan untuk mengetahui kondisi setiap penyulang seperti profil tegangan, arus dan rugi-rugi daya setiap bus.

Tabel 4.2 Hasil aliran daya penyulang Kaliasin kasus 1

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	99.24	-30.57	26.10	12.80
2	19.70798	0.0659	2	3	23.65	-31.07	0.03	0.01
3	19.70659	0.0663	2	4	75.58	-30.41	3.79	1.90
4	19.65203	0.0768	4	5	61.60	-29.67	0.39	0.19
5	19.64496	0.0780	4	6	14.02	-33.67	0.02	0.01
6	19.65040	0.0774	5	7	30.59	-27.31	0.13	0.06
7	19.64025	0.0783	7	8	25.06	-30.34	0.38	0.19
8	19.62328	0.0820	7	9	5.72	-13.94	0.00	0.00
9	19.63938	0.0777	9	10	5.72	-13.94	0.02	0.02
10	19.63570	0.0713	Total Rugi Daya				30.859	15.193

Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa pada penyulang Kaliasin tegangan pada setiap bus masih berada dalam standart yang telah ditentukan(>19 KV), arus yang melalui saluran pada penyulang kaliasin juga masih berada dalam standart yang telah ditentukan(< 400 A) dan rugi-rugi daya masih terbilang kecil.

Tabel 4.3 Hasil aliran daya penyulang Tunjungan kasus 1

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses		
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar	
1	20	0	1	2	158.73	-22.12	6.68	3.28	
2	19.95326	-0.0094	2	3	147.07	-23.29	5.73	2.81	
3	19.90990	-0.0156	3	4	86.77	-22.10	2.00	0.98	
4	19.88436	-0.0208	3	5	47.35	-27.69	0.59	0.29	
5	19.89593	-0.0145	5	6	42.34	-29.34	0.48	0.23	
6	19.88345	-0.0125	6	7	10.94	-15.28	0.03	0.02	
7	19.88028	-0.0143	4	8	17.20	-7.10	0.08	0.04	
8	19.87956	-0.0256	4	9	67.14	-26.18	2.39	1.17	
9	19.84472	-0.0208	9	10	15.58	-41.84	0.06	0.03	
10	19.84029	-0.0172	9	11	22.30	-34.59	0.13	0.06	
11	19.83821	-0.0180	11	12	18.99	-38.42	0.10	0.05	
12	19.83272	-0.0145	Total Rugi Daya					18.264	8.959

Dari Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa pada penyulang Tunjungan tegangan pada setiap bus masih berada dalam standart yang telah ditentukan(>19 KV), arus yang melalui saluran pada penyulang kaliasin juga masih berada dalam standart yang telah ditentukan(< 400 A) dan rugi-rugi daya masih terbilang kecil.

Tabel 4.4 Hasil aliran daya penyulang Ometraco kasus 1

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	154.63	-11.06	23.91	11.74
2	19.83373	-0.1296	2	3	150.45	-10.98	6.00	2.94
3	19.79089	-0.1635	3	4	149.29	-10.97	1.07	5.22
4	19.77733	-0.259	4	5	43.17	-10.98	0.49	0.24
5	19.76504	-0.2688	4	6	76.32	-14.47	1.67	0.82
6	19.75355	-0.2735	5	7	41.84	-11.02	0.46	0.23

Lanjutan **Tabel 4.4**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
7	19.75314	-0.2783	6	8	74.2	-14.57	1.46	0.72
8	19.73211	-0.2865	8	9	36.03	-15.38	0.34	0.17
9	19.72167	-0.2924	8	10	19.9	-15.66	0.10	0.05
10	19.72634	-0.2897	10	11	17.35	-16.38	0.08	0.04
11	19.72130	-0.2923	7	12	12.47	-11.05	0.04	0.02
12	19.74959	-0.2811	12	13	6.26	-12.28	0.01	0.01
13	19.74780	-0.2824	Total Rugi Daya				35.642	22.183

Dari Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa pada penyulang Ometraco tegangan pada setiap bus masih berada dalam standart yang telah ditentukan(>19 KV), arus yang melalui saluran pada penyulang kaliasin juga masih berada dalam standart yang telah ditentukan(< 400 A) dan rugi-rugi daya masih terbilang kecil.

Tabel 4.5 Hasil aliran daya penyulang Tegalsari kasus 1

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	48.96	-13.09	0.32	0.16
2	19.99288	-0.0048	2	3	47.31	-12.98	3.34	0.54
3	19.92143	0.0088	3	4	45.61	-13.17	0.45	0.22
4	19.91069	0.0018	4	5	44.29	-13.18	0.20	0.10
5	19.90583	-0.0015	5	6	43.29	-13.35	0.76	0.37
6	19.88689	-0.0138	6	7	38.29	-14.05	0.19	0.09
7	19.88159	-0.0172	7	8	36.99	-14.21	0.76	0.37
8	19.85906	-0.0309	8	9	1.16	-20.04	0	0
9	19.85889	-0.0309	8	10	28.82	-13.58	0.45	0.22
10	19.84195	-0.0419	10	11	5.55	-11.51	0.02	0.01
11	19.83766	-0.0452	10	12	20.24	-16.05	0.62	0.30
12	19.80863	-0.0591	12	13	19.07	-16.82	0.24	0.12
13	19.79479	-0.0658	13	14	17.97	-17.35	0.03	0.01

Lanjutan **Tabel 4.5**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
14	19.79315	-0.0665	14	15	12.83	-16.46	0.11	0.05
15	19.78409	-0.0710	15	16	11.33	-17.57	0.01	0.01
16	19.78298	-0.0715	16	17	10.22	-17.58	0.02	0.01
17	19.78106	-0.0723	17	18	8.49	-18.30	0.02	0.01
18	19.77858	-0.0733	18	19	7.67	-13.62	0	0
19	19.77808	-0.0736	19	20	5.01	-16.50	0	0
20	19.77759	-0.0739	Total Rugi Daya				7.5384	2.5995

Dari Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa pada penyulang Tegalsari tegangan pada setiap bus masih berada dalam standart yang telah ditentukan(>19 KV), arus yang melalui saluran pada penyulang Tegalsari juga masih berada dalam standart yang telah ditentukan(< 400 A) dan rugi-rugi daya masih terbilang kecil.

Tabel 4.6 Hasil aliran daya penyulang Basuki Rahmat kasus 1

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	53.72	-12.76	4.30	2.11
2	19.9133	-0.0594	2	3	4.92	-14.11	0.01	0
3	19.9119	-0.0602	2	4	0.5	-8.11	0	0
4	19.9133	-0.0594	2	5	0.66	-11.54	0	0
5	19.9133	-0.0594	2	6	47.64	-12.69	0.6	0.3
6	19.8997	-0.0688	6	7	5.63	-8.17	0	0
7	19.8989	-0.0696	6	8	10.05	-8.18	0.01	0.01
8	19.8982	-0.0701	6	9	1.11	-11.58	0	0
9	19.8995	-0.0689	6	10	0.47	-20.05	0	0
10	19.8996	-0.0688	6	11	30.45	-14.94	0.25	0.12
11	19.8908	-0.0739	11	12	0.46	-11.38	0.01	0

Lanjutan **Tabel 4.6**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
12	19.8908	-0.0739	11	13	7.83	-14.16	0.01	0
13	19.8897	-0.0746	11	14	22.17	-15.28	0.39	0.19
14	19.8716	-0.0846	14	15	0.11	-10.87	0	0
15	19.8716	-0.0846	14	16	22.06	-15.3	0.17	0.08
16	19.8633	-0.0892	16	17	5.29	-8.19	0	0
17	19.8625	-0.0899	16	18	16.82	-17.54	0.05	0.02
18	19.8602	-0.0906	18	19	1.16	-14.19	0	0
19	19.86	-0.0907	18	20	1.76	-8.13	0	0
20	19.8599	-0.0908	18	21	13.93	-19	0.05	0.03
21	19.8561	-0.0921	21	22	12.42	-19.08	0.05	0.02
22	19.8518	-0.0936	22	23	9.94	-21.85	0.01	0
23	19.8511	-0.0938	23	24	7.77	-24.75	0.01	0
24	19.8499	-0.0939	24	25	6.52	-28	0.01	0.01
25	19.848	-0.0937	25	26	5.13	-33.75	0	0
26	19.8476	-0.0937	26	27	3.85	-43.34	0	0
27	19.8471	-0.0934	27	28	0.6	-14.13	0	0
28	19.847	-0.0934	27	29	2.97	-54.6	0	0
29	19.84630	-0.0921	Total Rugi Daya				5.9263	2.9094

Dari Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa pada penyulang Basuki Rahmat tegangan pada setiap bus masih berada dalam standart yang telah ditentukan(>19 KV), arus yang melalui saluran pada penyulang Basuki Rahmat juga masih berada dalam standart yang telah ditentukan(< 400 A) dan rugi-rugi daya masih terbilang kecil.

4.2.2 Penyulang Surabaya pada kasus ke-2

Pada studi kasus ke-2, disimulasikan terjadinya kontingensi yaitu *overload* pada penyulang Tunjungan sehingga diperlukan rekonfigurasi. Kondisi *overload* terjadi dengan memperbesar pembebanan pada penyulang Tunjungan.

Tabel 4.7 Data pembebanan penyulang Tunjungan kasus 2

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0,5387	0,3322
3	0,554	0,37
4	0,3612	0,3178
5	0,4	0,325
6	0,824	0,655
7	0,5099	0,3573
8	0,6393	0,3421
9	0,901	0,43
10	0,5304	0,5062
11	1,0691	1,0171
12	4,0951	4,0339

Dengan menggunakan perhitungan aliran daya dengan data impedansi dan data pembebanan penyulang Tunjungan ketika diperbesar, dijalankan dengan program Matlab didapatkan hasil pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil aliran daya penyulang Tunjungan kasus 2

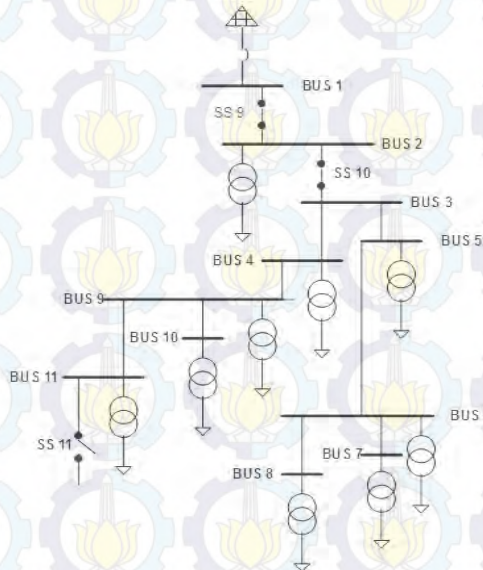
Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses		
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar	
1	20	0	1	2	706.11	-39.26	132.13	64.82	
2	19.79708	0.1370	2	3	674.45	-39.63	120.54	59.13	
3	19.60367	0.2742	3	4	528.81	-40.51	74.10	36.35	
4	19.45270	0.3905	3	5	112.01	-37.34	3.32	1.63	
5	19.57127	0.2934	5	6	85.68	-36.89	1.95	0.95	
6	19.54645	0.3077	6	7	31.87	-34.71	0.27	0.13	
7	19.53716	0.3119	4	8	37.29	-27.76	0.37	0.18	
8	19.44170	0.3916	4	9	467.77	-41.49	115.97	56.89	
9	19.18708	0.6144	9	10	38.23	-43.04	0.39	0.19	
10	19.17632	0.6245	9	11	379.94	-43.58	38.25	18.77	
11	19.08049	0.7188	11	12	302.61	-43.77	24.27	11.90	
12	18.99573	0.8036	Total Rugi Daya					511.55	250.95

Dari tabel 4.8 dapat diketahui bahwa pada penyulang Tunjungan tegangan pada bus berada diluar standar yang telah ditentukan (<19 KV) yaitu pada bus 12. Dan arus melebihi batas nominal 400 A, total rugi daya nyata juga mengalami kenaikan drastis menjadi sebesar 511 KW. Sehingga perlu dilakukan rekonfigurasi untuk memperbaiki tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya nyata, agar sistem optimal.

4.2.2.1 Rekonfigurasi penyulang menggunakan *Binary Integer Programming*

Rekonfigurasi pada penyulang di Surabaya perlu dilakukan untuk mengatasi overload yang terjadi pada penyulang Tunjungan dengan menggunakan metode *Binary Integer Programming* (BIP) untuk mendapatkan konfigurasi yang optimal atau yang memiliki total rugi-rugi daya nyata terkecil dari kombinasi rekonfigurasi yang feasible. Setelah program dijalankan, terpilih kombinasi ke-3 yaitu SS 11 open, SS 14 open, TS 4 ON dan TS 2 ON, .

Pada gambar 4.6 *single line diagram* dari Tunjungan setelah rekonfigurasi.



Gambar 4.6 *Single line Diagram* Tunjungan saat rekonfigurasi

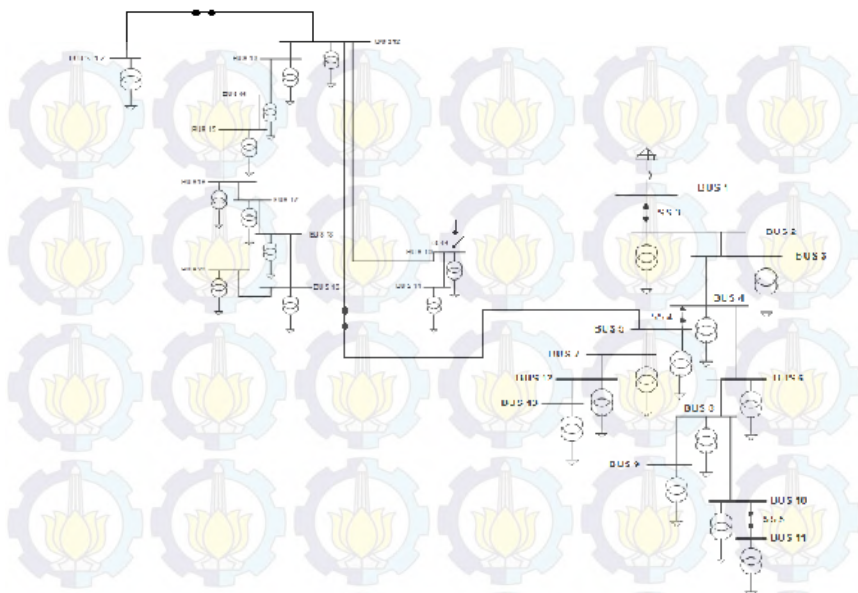
Hasil aliran daya penyulang Tunjungan setelah rekonfigurasi terdapat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil aliran daya penyulang Tunjungan setelah rekonfigurasi

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses		
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar	
1	20	0	1	2	398.87	-36.17	42.16	20.68	
2	19.88408	0.0591	2	3	367.15	-36.56	35.72	17.52	
3	19.77753	0.1163	3	4	222.51	-36.54	13.12	6.44	
4	19.71296	0.1512	3	5	111.02	-37.49	3.27	1.60	
5	19.74541	0.1352	5	6	84.93	-37.04	1.91	0.94	
6	19.72081	0.1492	6	7	31.59	-34.87	0.26	0.13	
7	19.71160	0.1534	4	8	36.80	-28.00	0.36	0.18	
8	19.70210	0.1523	4	9	161.83	-37.78	13.88	6.81	
9	19.61945	0.2082	9	10	37.39	-43.44	0.37	0.18	
10	19.60893	0.2197	9	11	75.29	-43.34	1.50	0.74	
11	19.59825	0.2277	Total Rugi Daya					112.55	55.21

Pada hasil tabel 4.9 didapatkan tegangan, arus dan rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Tunjungan. Pada data tabel didapatkan tegangan yang sudah memenuhi standar (>19 KV), arus dibawah 400 A dan rugi-rugi daya telah mengalami penurunan menjadi 112.55 KW.

Pada gambar 4.7 merupakan *single line diagram* dari Ometraco setelah rekonfigurasi.



Gambar 4.7 Single line Diagram Ometraco saat rekonfigurasi

Akibat rekonfigurasi maka data impedansi saluran dan data pembebanan pada penyulang Tegalsari mengalami pertambahan seperti pada tabel 4.10 dan tabel 4.11.

Tabel 4.10 Data saluran penyulang Ometraco setelah rekonfigurasi

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	1	0,491
2	3	0,265	0,13
3	4	0,048	0,234
4	5	0,265	0,13
4	6	0,286	0,14

Lanjutan **Tabel 4.10**

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
5	7	0,265	0,13
6	8	0,265	0,13
8	9	0,265	0,13
8	10	0,265	0,13
10	11	0,265	0,13
7	12	0,265	0,13
12	13	0,265	0,13
4	14	1,502	1,737
14	15	0,66	0,324
15	16	0,083	0,41
16	17	0,643	0,315
17	18	0,089	0,043
18	19	0,171	0,084
19	20	0,0265	0,13
20	21	0,06	0,029
21	22	0,089	0,044
14	23	0,1502	0,737
23	24	0,717	0,352
24	25	1,502	1,737

Tabel 4.11 Data beban penyulang Ometraco setelah rekonfigurasi

No bus	P(MW)	Q(MVar)
2	0,0807	0,0197
3	0,0225	0,0046
4	0,599	0,0197
5	0,026	0,0043
6	0,0411	0,0077

Lanjutan **Tabel 4.11**

No bus	P(MW)	Q(MVar)
7	0,057	0,0108
8	0,0354	0,0072
9	0,0686	0,0185
10	0,0497	0,0092
11	0,3287	0,0948
12	0,121	0,0203
13	0,1209	0,0257
14	0,0236	0,0015
15	0,0218	0,0031
16	0,096	0,0034
17	0,0297	0,0042
18	0,0211	0,0066
19	0,0333	0,0083
20	0,012	0,0017
21	0,0524	0,0075
22	0,095	0,0028
23	0,062	0,0012
24	0,108	0,0219
25	4,0951	4,0339

Dengan menggunakan data impedansi saluran dan data pembebanan pada tabel 4.10 dan 4.11, dilakukan simulasi matlab untuk mengetahui hasil aliran daya. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil aliran daya penyalang Ometraco setelah rekonfigurasi

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	253.32	-29.85	64.17	31.51
2	19.71838	0.0529	2	3	249.28	-30.12	16.47	8.08

Lanjutan **Tabel 4.12**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
3	19.64499	0.0681	3	4	248.17	-30.21	2.96	14.41
4	19.60547	-0.0609	4	5	16.87	-10.72	0.08	0.04
5	19.60067	-0.0648	4	6	27.64	-14.78	0.22	0.11
6	19.59684	-0.0660	5	7	15.53	-10.83	0.06	0.03
7	19.59625	-0.0684	6	8	25.51	-15.12	0.17	0.08
8	19.58945	-0.0702	8	9	3.63	-15.16	0	0
9	19.58840	-0.0708	8	10	20.04	-15.44	0.11	0.05
10	19.58364	-0.0735	10	11	17.47	-16.16	0.08	0.04
11	19.57856	-0.0761	7	12	12.57	-10.84	0.04	0.02
12	19.59267	-0.0713	12	13	6.31	-12.07	0.01	0.01
13	19.59087	-0.0726	4	14	180.80	-38.94	49.10	56.78
14	19.19709	-0.2818	14	15	18.94	-6.27	0.24	0.12
15	19.18401	-0.2962	15	16	17.80	-6.13	0.03	0.13
16	19.18180	-0.3174	16	17	12.81	-7.61	0.11	0.05
17	19.17313	-0.3262	17	18	11.24	-7.50	0.01	0.01
18	19.17207	-0.3273	18	19	10.11	-6.35	0.02	0.01
19	19.17026	-0.3293	19	20	8.34	-4.64	0	0.01
20	19.16996	-0.3324	20	21	7.71	-4.33	0	0
21	19.16949	-0.3330	21	22	4.69	-2.02	0	0
22	19.16904	-0.3336	14	23	164.21	-42.76	4.05	19.87
23	19.09731	-0.4996	23	24	161.78	-43.52	18.76	9.21
24	18.97369	-0.3864	24	25	156.86	-44.63	36.96	42.74
25	18.61482	-0.4812	Total Rugi Daya				193.645	183.30

Dari hasil rekonfigurasi pada penyulang Ometraco, tegangan pada bus 24 dan 25 masih mengalami *undervoltage* atau belum memenuhi standar yang ditentukan (>19 KV) dan didapatkan total rugi daya nyata yang cukup besar yaitu 193.645 KW. Maka penyulang perlu dioptimasi lagi dengan memasang *distributed generation* (DG) untuk mengatasi masalah ini.

4.2.2.2 Penentuan lokasi dan kapasitas DG menggunakan *Particle Swarm Optimization*

Simulasi berikutnya digunakan pemasangan DG karena setelah rekonfigurasi tegangan masih mengalami *undervoltage* dan rugi-rugi daya nyata masih cukup besar. Maka metode *particle swarm optimization* (PSO) digunakan untuk menentukan letak lokasi DG dan kapasitas yang optimal. Dimana tegangan dijadikan *constraint* dan nilai fitness adalah rugi-rugi daya. Hasil simulasi pemasangan DG dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil simulasi penyulang Ometraco setelah pemasangan DG

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	181.41	-42.00	32.91	16.16
2	19.80566	0.1597	2	3	177.74	-42.65	8.37	4.11
3	19.75541	0.2034	3	4	176.75	-42.84	1.50	7.31
4	19.72099	0.1324	4	5	16.77	-10.53	0.07	0.04
5	19.71622	0.1285	4	6	27.48	-14.59	0.22	0.11
6	19.71241	0.1274	5	7	15.44	-10.64	0.06	0.03
7	19.71183	0.1250	6	8	25.36	-14.93	0.17	0.08
8	19.70507	0.1232	8	9	3.61	14.97	0	0
9	19.70402	0.1226	8	10	19.93	-15.25	0.11	0.05
10	19.69929	0.1200	10	11	17.37	-15.97	0.08	0.04
11	19.69424	0.1174	7	12	12.49	-10.65	0.04	0.02
12	19.70827	0.1222	12	13	6.27	-11.88	0.01	0.01
13	19.70648	0.1209	4	14	122.85	-62.81	22.67	26.21
14	19.44714	0.3305	14	15	18.70	-5.65	0.23	0.11
15	19.43424	0.3165	15	16	17.57	-5.52	0.03	0.13
16	19.43206	0.2958	16	17	12.64	-7.00	0.10	0.05
17	19.42349	0.2872	17	18	11.10	-6.89	0.01	0.01
18	19.42245	0.2862	18	19	9.98	-5.73	0.02	0.01
19	19.42066	0.2842	19	20	8.23	-4.02	0	0.01

Lanjutan **Tabel 4.13**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
20	19.42037	0.2811	20	21	7.61	-3.72	0	0
21	19.41990	0.2806	21	22	4.89	-1.41	0	0
22	19.41945	0.2800	14	23	113.33	-71.31	1.93	9.47
23	19.36251	0.3004	23	24	112.30	-72.85	9.04	4.44
24	19.30145	0.4952	24	25	109.73	-75.48	18.08	20.91
25	19.07693	0.8367	Total Rugi Daya				95.665	89.299

Tabel 4.14 Lokasi penempatan dan kapasitas DG

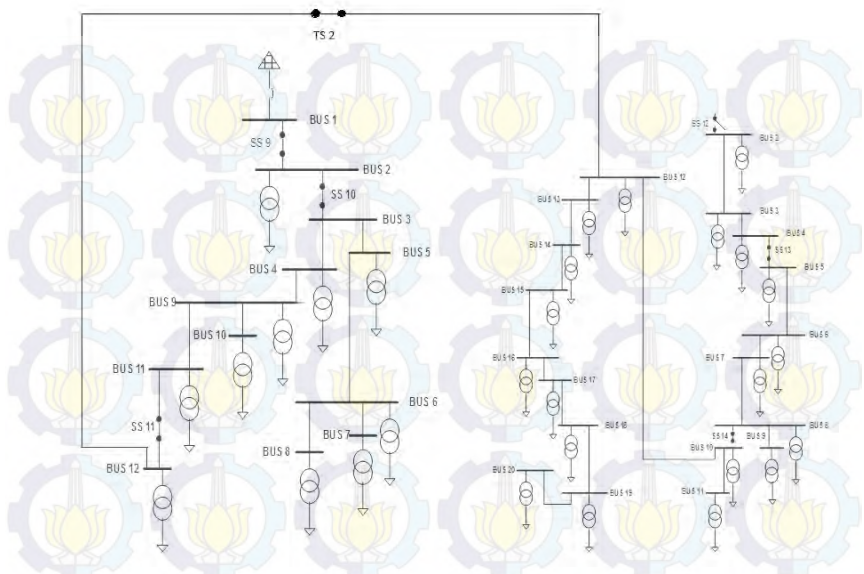
Lokasi DG	Kapasitas DG
Bus ke 24	0.8 MW
Bus ke 24	0.8 MW

Dari hasil simulasi pemasangan DG pada penyulang tegalsari dapat diperhatikan bahwa tegangan telah memenuhi standar (>19 KV). Tegangan telah naik yang sebelumnya paling kecil 18.61482 KV menjadi 19.07693 KV. Pada rugi daya juga mengalami penurunan yang signifikan dari sebelumnya 193.645 KW menjadi 95.665 KW. Pemasangan DG diberikan sebanyak 2 buah, yaitu pada bus ke 24 sebanyak 2 buah dengan kapasitas keduanya adalah 0.8 MW.

4.2.3 Penyulang Surabaya pada kasus ke-3

Pada studi kasus ke-3, disimulasikan terjadinya kontingensi yaitu transformator pada penyulang Tegalsari mengalami *trip* sehingga semua beban yang ditanggung oleh penyulang Tegalsari mengalami pemadaman daya listrik sehingga beban pada penyulang Tegalsari harus dialihkan ke penyulang yang lain agar kontinuitas penyaluran daya tetap terjaga.

Cara mengatasi masalah tersebut dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan metode *binary integer programming*. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah status ON/OFF *sectional switch* dan *tie switch* yang ada pada penyulang. Setelah program dijalankan, terpilih kombinasi ke-1 yaitu SS12 OFF dan TS 2 ON sehingga beban penyulang Tegalsari ditanggung oleh Tunjungan. Dapat dilihat pada *single line diagram* pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Single line Diagram Tunjungan saat rekonfigurasi

Tabel 4.15 Hasil aliran daya penyulang Tunjungan setelah rekonfigurasi

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	311.90	-18.27	25.78	12.65
2	19.90881	-0.0363	2	3	300.01	-18.69	23.85	11.70
3	19.82101	-0.0696	3	4	239.86	-17.08	15.25	7.48
4	19.75111	-0.1021	3	5	47.57	-27.74	0.60	0.29
5	19.80697	-0.0685	5	6	42.53	-29.39	0.48	0.24
6	19.79444	-0.0664	6	7	10.99	-15.34	0.03	0.02
7	19.79125	-0.0682	4	8	17.31	-7.18	0.08	0.04
8	19.74628	-0.1070	4	9	219.60	-17.87	25.56	12.54
9	19.62286	-0.1572	9	10	15.76	-41.98	0.07	0.03

Lanjutan **Tabel 4.15**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
10	19.61838	-0.1535	9	11	174.05	-16.74	8.03	3.94
11	19.57220	-0.1821	11	12	170.42	-16.79	7.70	3.78
12	19.52259	-0.2065	12	13	152.68	-14.10	35.01	40.49
13	19.23734	-0.8093	13	14	59.07	-17.59	2.30	1.13
14	19.19449	-0.8304	14	15	55.67	-18.12	0.26	0.13
15	19.18940	-0.8328	15	16	39.77	-17.24	1.02	0.50
16	19.16133	-0.8471	16	17	35.13	-18.35	0.11	0.05
17	19.15790	-0.8486	17	18	31.67	-18.37	0.17	0.08
18	19.15193	-0.8513	18	19	26.30	-19.09	0.18	0.09
19	19.14424	-0.8545	19	20	23.76	-14.40	0.03	0.02
20	19.14270	-0.8555	20	21	15.52	-17.28	0.02	0.01
21	19.14118	-0.8563	13	22	90.13	-12.21	12.20	14.11
22	19.07410	-1.1899	22	23	17.34	-12.66	0.22	0.11
23	19.06070	-1.2004	22	24	63.20	-13.61	2.18	1.07
24	19.03676	-1.2173	24	25	3.64	-21.22	0	0
25	19.03623	-1.2175	24	26	37.72	-10.88	0.80	0.39
26	19.01424	-1.2373	26	27	33.63	-10.92	0.14	0.07
27	19.00967	-1.2415	27	28	17.86	-12.36	0.13	0.06
28	19.00193	-1.2477	28	29	14.71	-13.52	0.02	0.01
29	19.00032	-1.2489	29	30	10.56	-13.33	0.02	0.01
30	18.99785	-1.2508	30	31	5.21	-17.43	0.04	0.01
31	18.99001	-1.2479	Total Rugi Daya				162.28	111.03

Dari hasil simulasi rekonfigurasi pada penyulang Tunjungan arus masih berada pada standar yang ditentukan ($< 400\text{A}$), tetapi masih terjadi tegangan yang *undervoltage* pada bus ke 30 dan 31 berada di bawah standar yang ditentukan ($> 19\text{KV}$), rugi-rugi daya nyata sebesar 162.28 KW . Sehingga masih perlu dilakukan pemasangan DG agar sistem lebih optimal.

4.2.3.1 Penentuan lokasi dan kapasitas DG pada penyulang Tunjungan

Simulasi berikutnya digunakan pemasangan DG karena setelah rekonfigurasi tegangan masih mengalami *undervoltage* dan rugi-rugi daya nyata masih cukup besar. Maka metode *particle swarm optimization* (PSO) digunakan untuk menentukan letak lokasi DG dan kapasitas yang optimal. Dimana tegangan dijadikan *constraint* dan nilai fitness adalah rugi-rugi daya. Hasil simulasi pemasangan DG dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil aliran daya penyulang Tunjungan setelah pemasangan DG

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke bus	Arus		Losses	
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar
1	20	0	1	2	285.81	-19.67	21.65	10.62
2	19.91618	-0.0273	2	3	273.99	-20.19	19.89	9.76
3	19.83574	-0.0516	3	4	213.69	-18.81	12.10	5.94
4	19.77319	-0.0750	3	5	47.53	-27.72	0.60	0.29
5	19.8219	-0.0505	5	6	42.50	-29.38	0.48	0.23
6	19.0919	-0.0485	6	7	10.99	-15.32	0.03	0.02
7	19.80601	-0.0503	4	8	17.30	-7.15	0.08	0.04
8	19.76836	-0.0799	4	9	193.57	-19.89	19.86	9.74
9	19.65961	-0.1117	9	10	15.73	-41.94	0.07	0.03
10	19.65514	-0.1080	9	11	148	-19.20	5.80	2.85
11	19.61626	-0.1273	11	12	144.38	-19.33	5.52	2.71
12	19.57395	-0.1424	12	13	126.37	-16.46	23.99	27.74
13	19.33075	-0.6087	13	14	58.78	-17.39	2.28	1.12
14	19.28811	-0.6296	14	15	55.40	-17.92	0.25	0.13
15	19.28304	-0.6320	15	16	39.57	-17.04	1.01	0.49
16	19.25511	-0.6462	16	17	34.96	-18.15	0.11	0.05
17	19.25169	-0.6477	17	18	31.51	-18.17	0.17	0.08
18	19.24576	-0.6503	18	19	26.17	-18.88	0.18	0.09
19	19.23810	-0.6535	19	20	23.65	-14.20	0.03	0.02

Lanjutan **Tabel 4.16**

Bus	Tegangan		Dari Bus	Ke Bus	Arus		Losses		
	Mag (KV)	Sudut			A	Sudut	KW	KVar	
20	19.23656	-0.6545	20	21	15.45	-17.08	0.02	0.01	
21	19.23505	-0.6553	13	22	64.01	-16.30	6.15	7.12	
22	19.20829	-0.8504	22	23	17.22	-12.32	0.21	0.10	
23	19.19498	-0.8608	22	24	37.62	-21.78	0.77	0.38	
24	19.18550	-0.8556	24	25	3.61	-20.86	0	0	
25	19.18497	-0.8598	24	26	12.47	-30.98	0.09	0.04	
26	19.17775	-0.8550	26	27	8.80	-40.40	0.01	0	
27	19.17654	-0.8542	27	28	9.35	-159.44	0.04	0.02	
28	19.17937	-0.8449	28	29	12.23	-166.17	0.02	0.01	
29	19.18041	-0.8422	29	30	10.46	-12.93	0.02	0.01	
30	19.17796	-0.8441	30	31	5.17	-17.03	0.04	0.01	
31	19.17020	-0.8412	Total Rugi Daya					121.48	79.65

Tabel 4.17 Lokasi penempatan dan kapasitas DG

Lokasi DG	Kapasitas DG
Bus ke 28	0.5 MW

Pada data hasil simulasi aliran daya pemasangan DG pada penyulang Tunjungan dapat diperhatikan bahwa tegangan telah memenuhi standar ($> 19\text{KV}$). Tegangan telah naik yang sebelumnya 18.99001 KV menjadi 19.17020 KV. Pada rugi daya juga mengalami penurunan yang signifikan dari sebelumnya 162.28 KW menjadi 121.48. pemasangan DG diberikan pada bus ke 28 dengan kapasitas 0.5 MW.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Permasalahan yang ditimbulkan akibat adanya kontingensi dapat diatasi dengan merekonfigurasi penyulang dengan metode *binar integer programming* dan penempatan DG dengan metode *particle swarm optimization*.
2. Pada kasus ke-1 kondisi penyulang dalam keadaan normal, karena belum terjadinya kontingensi.
3. Pada kasus ke-2, terjadi *overload* pada penyulang Tunjungan sehingga terjadi *undervoltage* pada penyulang dengan penurunan tegangan dibawah batas standar (>19 KV), dan meningkatnya rugi-rugi daya yang cukup signifikan. Setelah dilakukan rekonfigurasi kondisi penyulang Tunjungan sudah cukup optimal, tetapi penyulang Ometraco hasil rekonfigurasi masih mengalami *undervoltage*. Untuk mengatasi masalah ini dipasang DG dengan menambahkan 2 DG pada penyulang, pada lokasi bus ke 24 terpasang sebanyak 2 buah dengan kapasitas masing-masing 0.8 MW.
4. Pada kasus ke-3, transformator pada penyulang Tegalsari mengalami *trip*, menyebabkan beban pada penyulang tidak dialiri daya. Setelah program dijalankan, terpilih kombinasi ke-1, yang menghubungkan penyulang Tegalsari dengan Tunjungan. Tetapi kondisi penyulang Tunjungan menjadi tidak optimal, karena masih ada tegangan yang *undervoltage*. Sehingga diperlukan pemasangan DG pada lokasi bus 28 dengan kapasitas 0.5 MW.

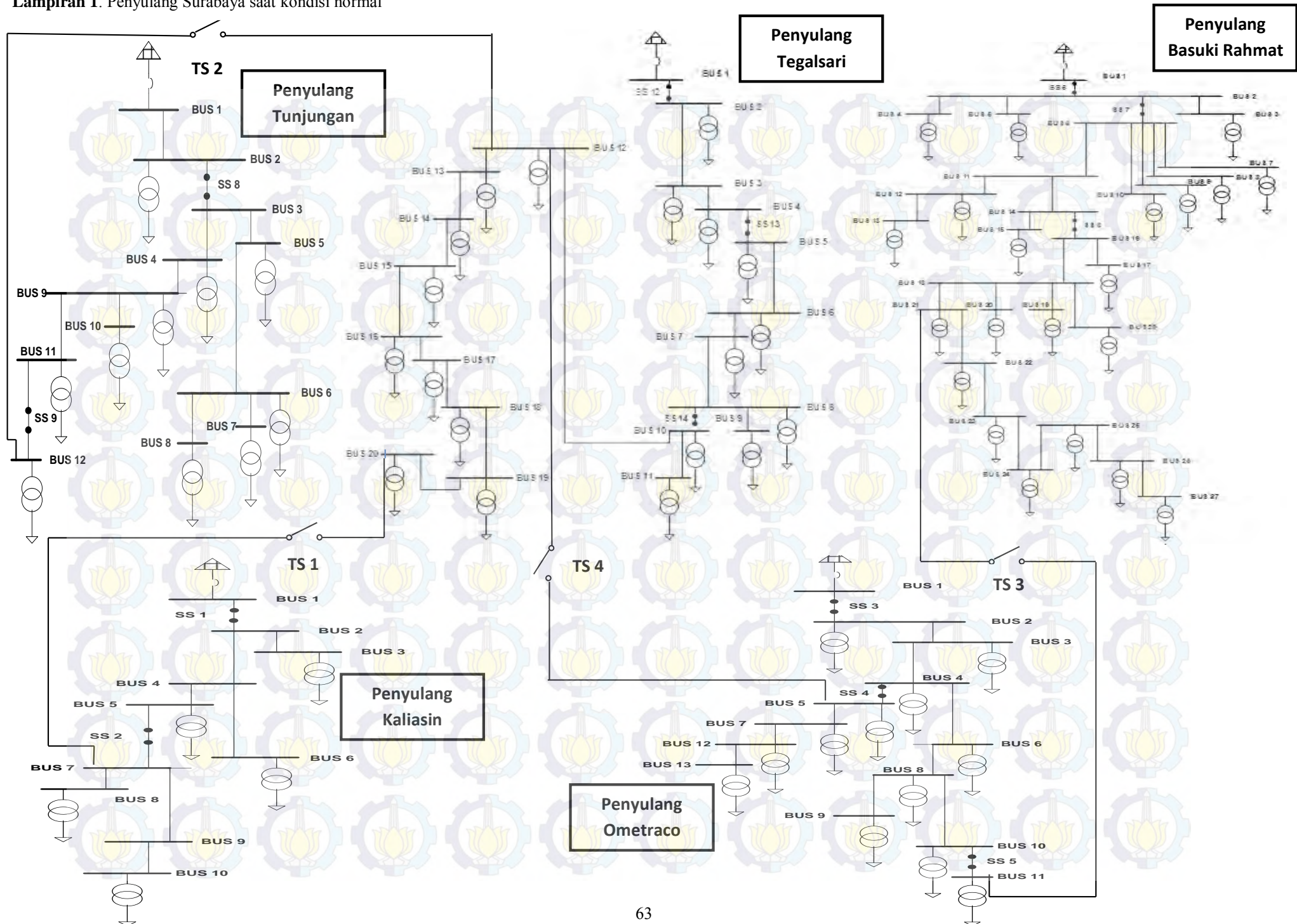
5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

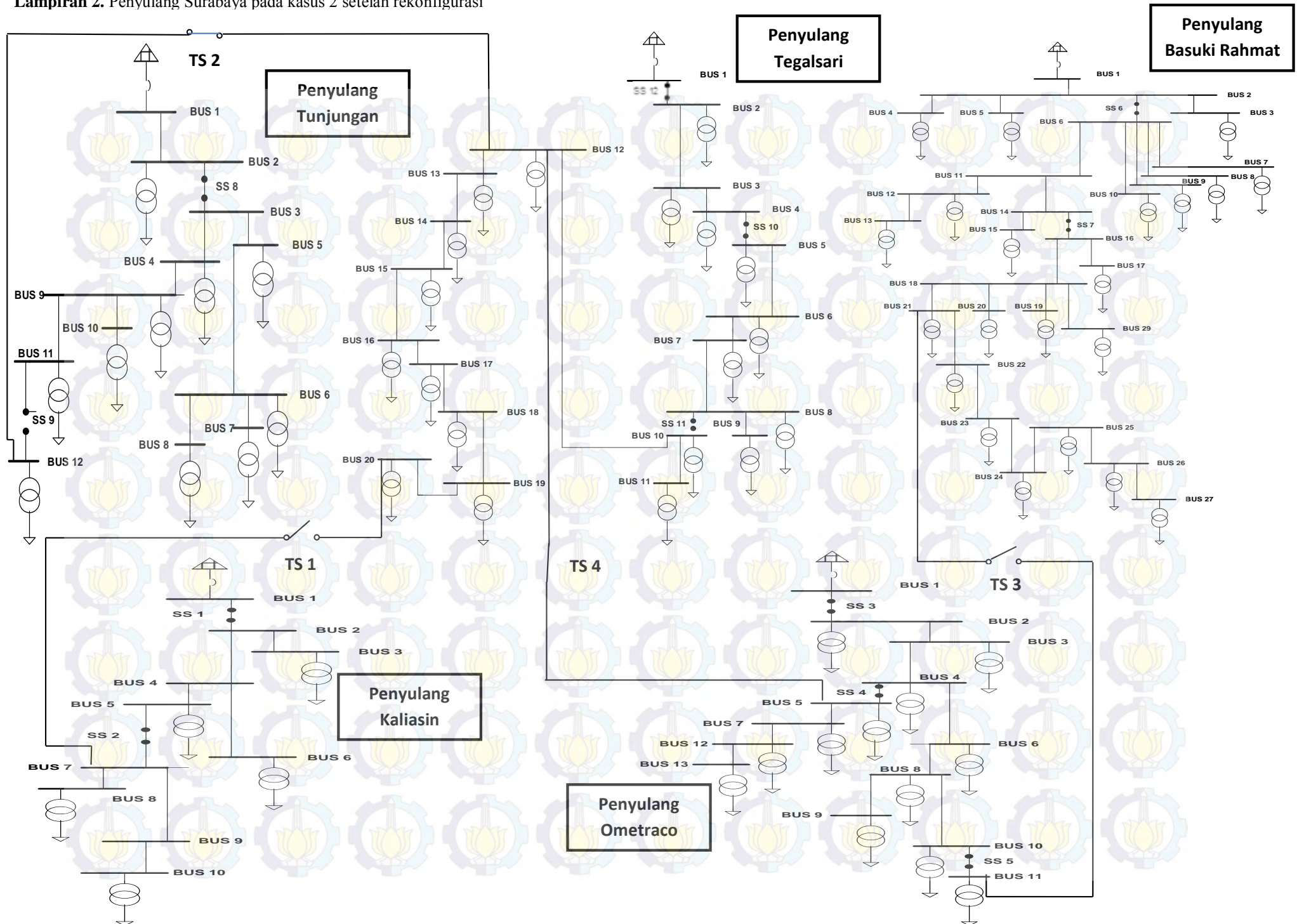
1. Perlu dilakukan pengujian optimasi pada sistem tak seimbang untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Perlu ditambahkan pemodelan DG yang digunakan, untuk pemasangan pada jaringan.



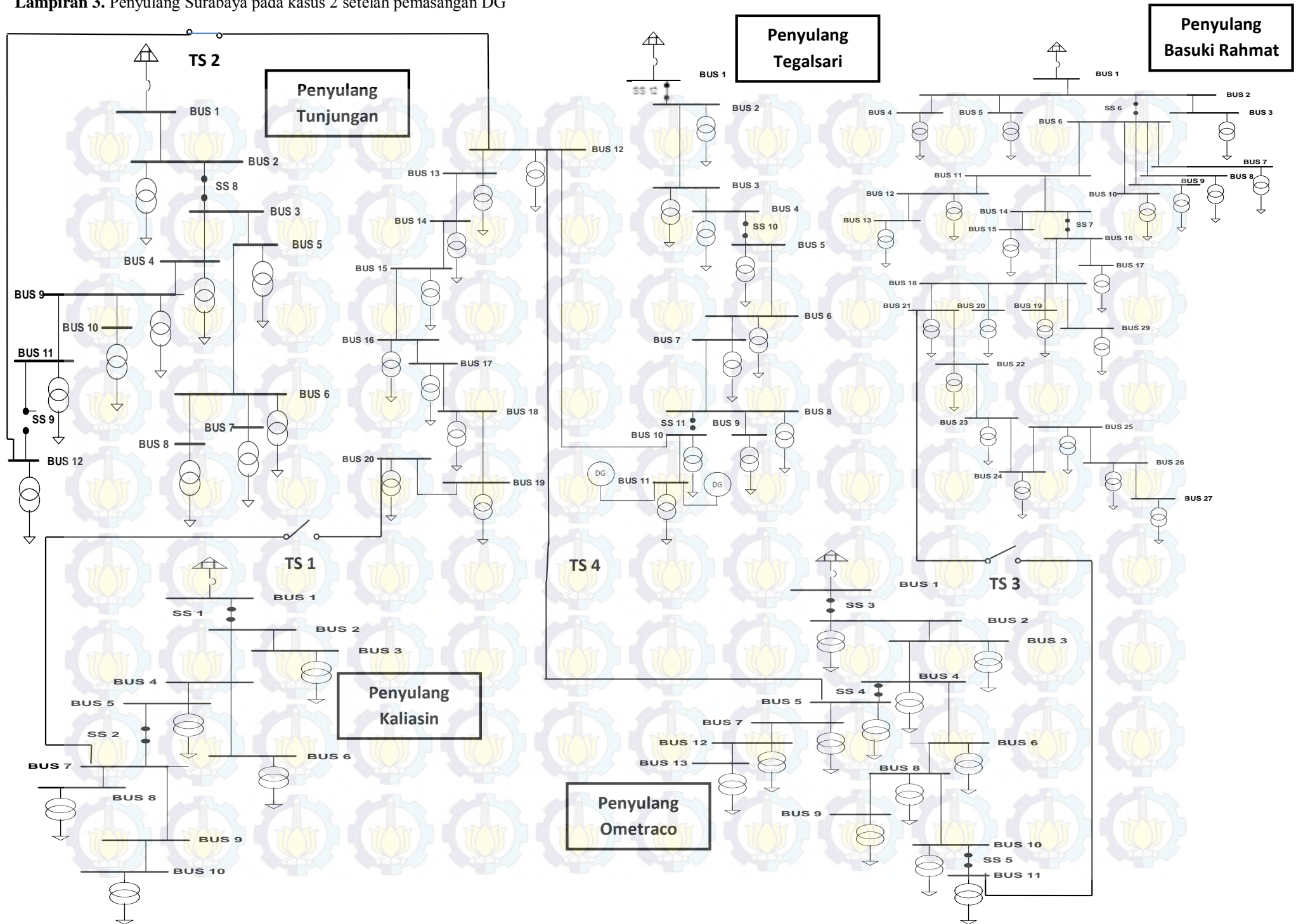
Lampiran 1. Penyulang Surabaya saat kondisi normal

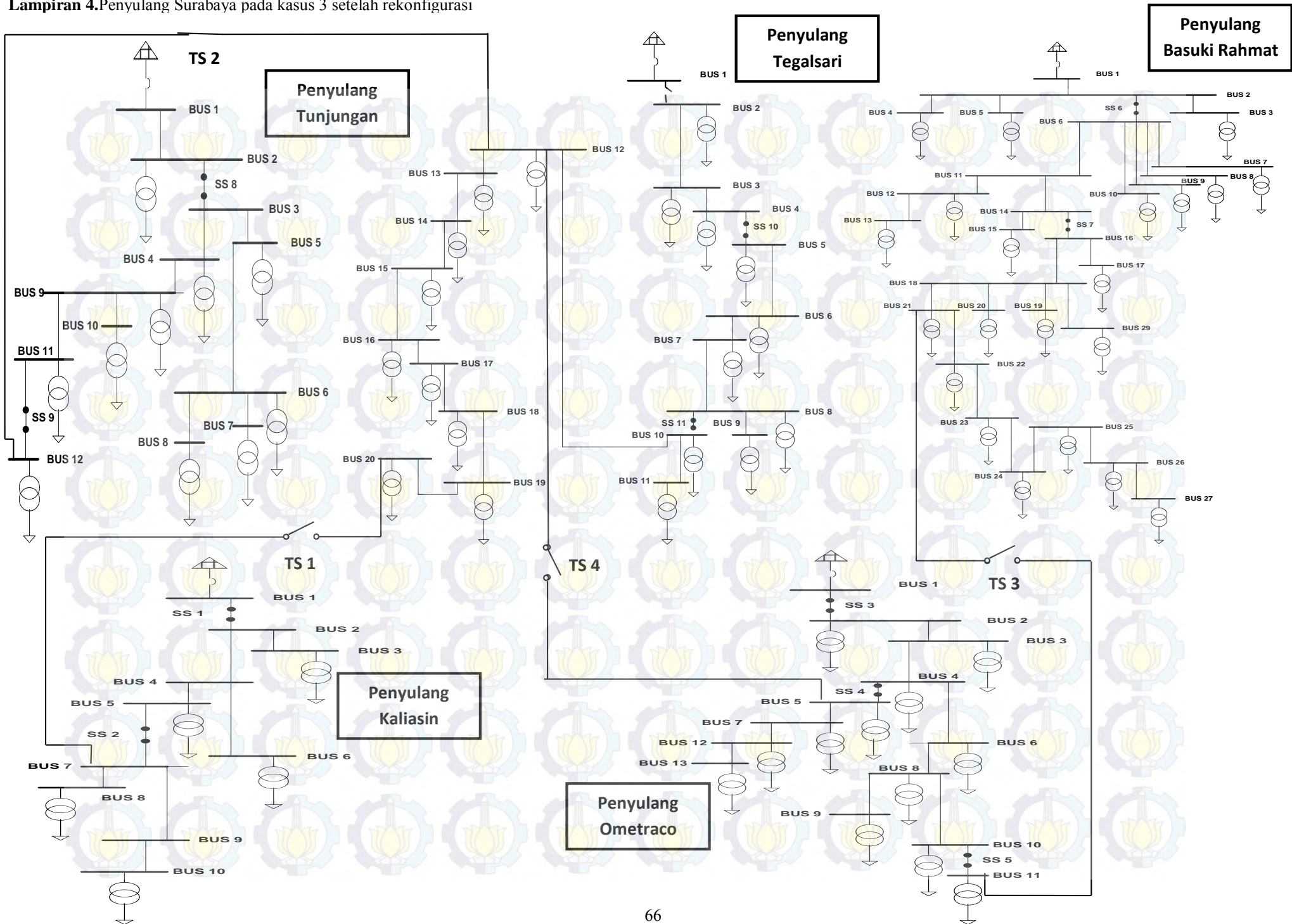


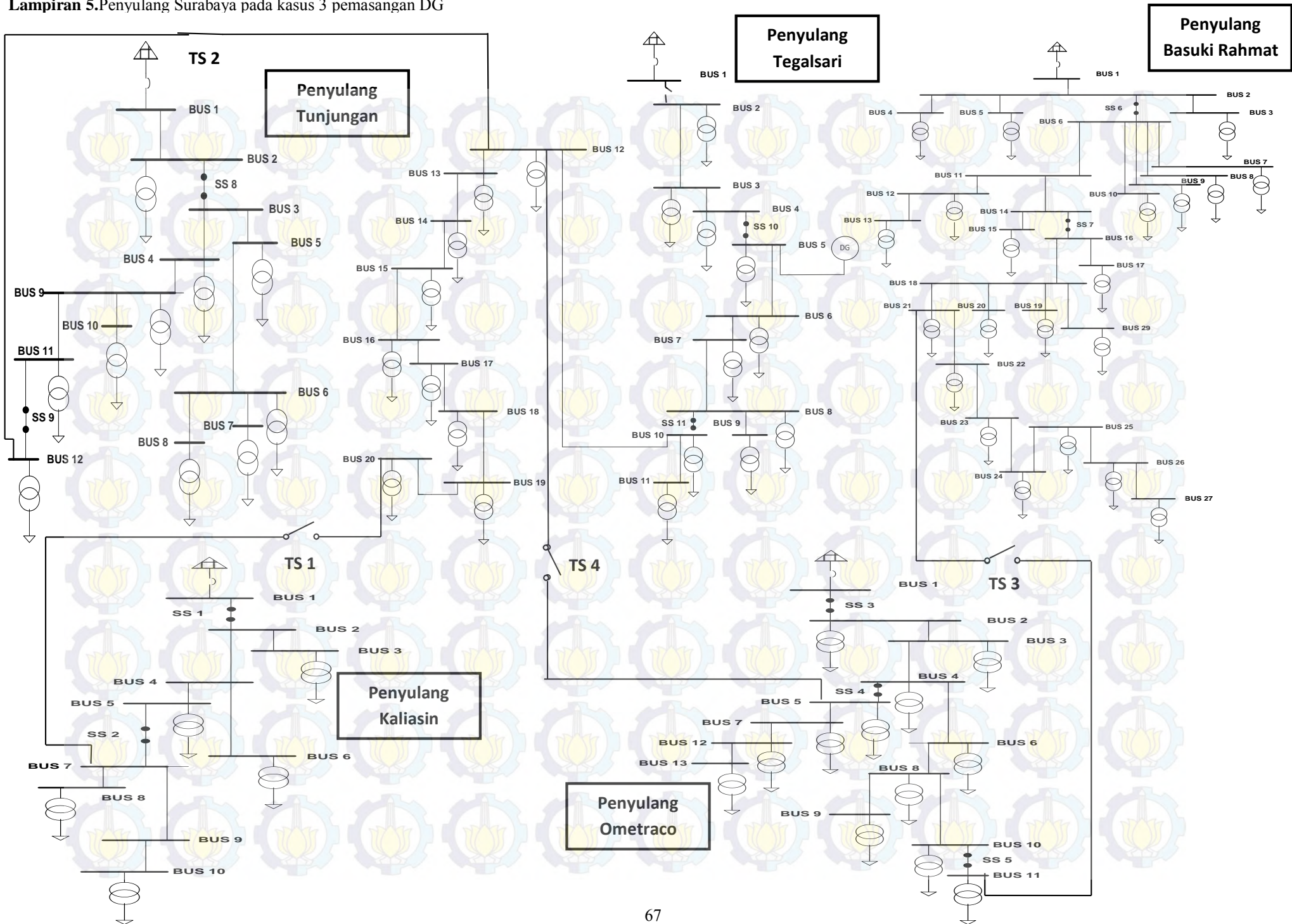
Lampiran 2. Penyulang Surabaya pada kasus 2 setelah rekonfigurasi

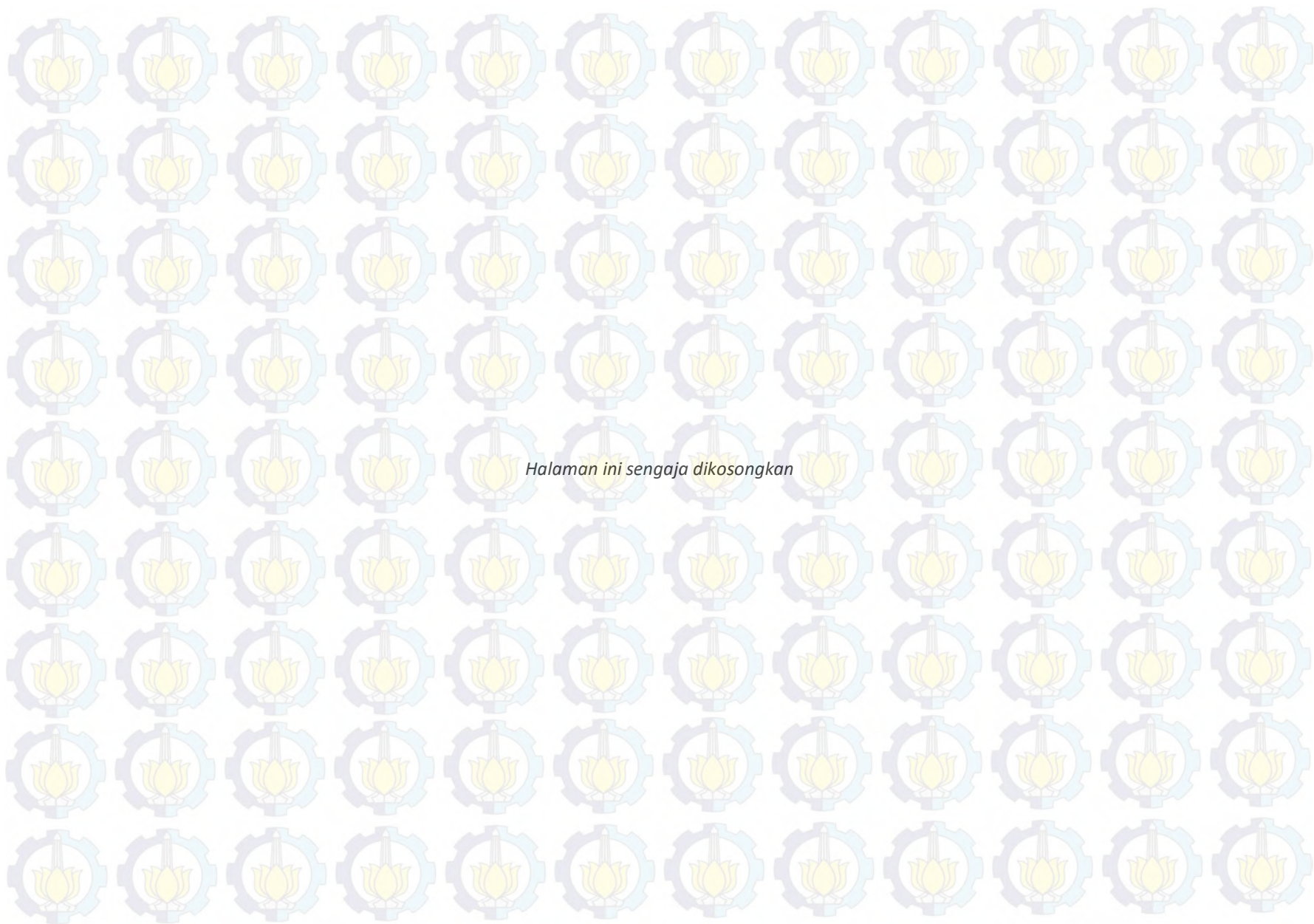


Lampiran 3. Penyulang Surabaya pada kasus 2 setelah pemasangan DG









Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] Anam, Sjamsul., "Handout kuliah transmisi dan distribusi", 2012
 - [2] Rahmat, Geschick Saifur, "Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV di Surabaya menggunakan Loop Restoration Scheme ", Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, 2013
 - [3] Hadi Saadat, "Power System Analysis", McGraw-Hill, Singapore, (2004).
 - [4] J. Wood, Allen Ana Wollenberg, Bruce F. "Power Generation and Operation Control (Second Edition)", John Wiley & Sons Inc, United States of America, 1996
 - [5] Kennedy J Ana Eberhart R, "Particle Swarm Optimizer," IEEE International Conference on Neural Network (Perth, Australia), IEEE Service Center Piscataway, NJ, IV, pp1942-1948, 1995.
 - [6] Aji Dharma, Ontoseno Penangsang, Rony Seto Wibowo, "Penempatan Optimal Sensor Dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) untuk State Estimation Pada Sistem Distribusi Surabaya", Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 1, (2014)
 - [7] Dwiky Alif Satria, "Penempatan DG Menggunakan Metode PSO pada Jaringan Distribusi Mikrogrid untuk Meminimalisasi Rugi Daya". Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015



Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Gema Ilham Pangestu, Penulis yang lahir di Bogor pada tanggal 2 Maret 1992 merupakan anak ke-1 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan dasar selama 6 tahun di SDN MALAKA JAYA 05 PAGI, menempuh pendidikan sekolah menengah pertama selama 3 tahun di MTs. Darunnajah Jakarta, kemudian menempuh pendidikan sekolah menengah atas selama 3 tahun di MAN INSAN CENDEKIA Serpong. Kemudian

penulis menyelesaikan program diploma di Politeknik Negeri Jakarta dengan jurusan teknik elektro dan program studi teknik elektronika industri. Dan saat ini tengah menempuh program strata satu di Institut Negeri Sepuluh November dengan jurusan teknik elektro, bidang studi teknik sistem tenaga.

